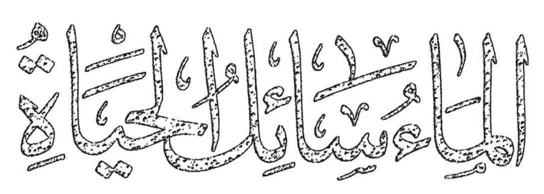


الماء سائل الحياة

خواصه - أنواعه - تنقيته - تحليته - تلوثه

موارده في الوطن العربي - حرب المياه

الدكتور
أحمد مدحت اسلام



خواصه - أنواعه - تنقيته - تحليته - تلوثه

موارده في الوطن العربي - حرب المياه

الدكتور

أحمد مدحت إسلام

أستاذ الكيمياء المتفرغ

عميد كلية العلوم الأسبق - جامعة الأزهر

الطبعة الأولى

١٤٢٠هـ - ١٩٩٩م

ملتزم الطبع والنشر

دار الفكر العربي

٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

٦٢٨,١ أحمد مدحت إسلام.

أح م ا الماء سائل الحياة: خواصه، أنواعه، تنقيته، تحليته، تلوثه، موارده فى الوطن العربى، حرب المياه/ أحمد مدحت إسلام. ـ القاهرة: دار الفكر العربى، ١٩٩٩.

١٩٥ ص: إيض؛ ٢٤سم.

ببليوجرافية: ص١٩٥.

تدمك: X -١٢٣٨- ١٠ - ٩٧٧.

١- المياه. ٢- المياه - تنقية. ٣- المياه- تلوث.

٤- مصادر المياه. أ- العنوان.

تصميم وإخراج فنى

ثريا إبراهيم حسين



أميرة للطباعة عابدين - ت : ٣٩١٥٨١٧

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ (٣٠) ﴾

[الأنبياء]

صدق الله العظيم

محتويات الكتاب







بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

أنشأ الله سبحانه وتعالى الماء ليكون أحد المكونات الرئيسية التى تدخل فى تركيب أجسام كل الكائنات الحية من نبات أو حيوان، مهما تعددت صورها وأشكالها.

وللماء أهمية خاصة عند الناس من قديم الزمان، فقد تصور أهل بابل أن العالم كله كان يتكون من الماء، وكانوا يعتقدون أن هناك إلها يدعى «مردوخ» «Marduck» يتحكم فى كل هذا العالم، وأنه قام بوضع غطاء من نوع ما فوق سطح الماء، ثم وضع فوقه قليلا من التراب، فصارت الأرض التى يعيشون عليها.

وقد ساد مثل هذا الاعتقاد عند الفيلسوف الإغريقى «طاليس» «Thales» الذى عاش على الشاطئ الآسيوى للبحر الأبيض فى المدينة التى عرفت باسم «مليطس» «Miletus» فقد كان هو الآخر يتصور أن العالم كله يتكون من الماء، ولكنه لم يكن راضيا عن أفكار البابليين، وعن الطريقة التى صنع بها إلههم الأرض.

ونظرا لأن «طاليس» سبق له أن زار مصر، فقد افترض أن خروج الأرض من الماء إنما حدث بطريقة طبيعية دون الحاجة إلى تدخل إله البابليين فى هذا الأمر.

وقد شبَّه «طاليس» الطريقة التى خرجت بها الأرض من الماء بخروج أرض الدلتا من مياه النيل عند مصبه فى مصر، أى عندما يبطئ تيار الماء فى مجرى النهر فيترسب ما به من طمى وفتات ومواد عالقة لتكوِّن معا أرضا جديدة لم تكن موجودة من قبل.

وللماء أهمية خاصة بالنسبة لجميع الكائنات الحية، فلا تستقيم الحياة مع الجفاف، ولا يستطيع الكائن الحى أن يستغنى عن الماء.

وقد يستطيع الكائن الحى أن يستغنى عن الطعام عشرات من الأيام، ولكنه لن يستطيع أن يمتنع عن شرب الماء أكثر من ثلاثة أيام، ولهذا يقال أن الموت عطشا أقرب من الموت جوعا، واستحق لنا أن نسمى الماء بسائل الحياة.

والماء من أهم المواد التى يحتاجها الإنسان فى حياته اليومية، فنحن نشربه لنتغلب على العطش، ونستخدمه فى تحضير طعامنا، ونستعمله فى غسل ملابسنا وفى تنظيف أجسامنا، كما نستعمله وسطا لإجراء مئات من التفاعلات الكيميائية فى معاملنا وفى مصانعنا.

كذلك يستعمل الماء على هيئة بخار لدفع كثير من آلاتنا وتحريكها، كما نستعمله على هيئة سائل لتبريد المحركات والمعدات فى محطات القوى وفى المفاعلات النووية وغيرها.

ويستخدم الماء الموجود بالأنهار والبحيرات، وفى البحار والمحيطات، وسطا للانتقال تمخر فيه السفن والقوارب لتنقلنا من مدينة إلى أخرى، ومن قارة إلى قارة، ويستعمله المزارعون على هيئة ماء عذب فى رى المحاصيل وفى إنتاج أصناف عديدة من المواد الغذائية، وفى تربية الأغنام والأبقار وزيادة الثروة الحيوانية.

ويعتبر الماء من أهم المواد التى توجد على سطح الكرة الأرضية ومن أكثرها انتشارا، فهو يغطى نحو ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية، ويملأ البحار والمحيطات ويتدفق فوق سطح القارات على هيئة أنهار وبحيرات، وربما كان من الأوجب أن نطلق على الكرة الأرضية اسم كرة الماء، أو كوكب الماء بدلا من كوكب الأرض.

ويكاد الماء أن يكون السائل الوحيد الموجود طبيعيا على سطح الأرض، فنحن لا نرى حولنا سائلا غيره، وأغلب السوائل الأخرى التى نعرفها هى سوائل من نوع آخر وتعرف باسم السوائل العضوية وهى من مركبات عنصر الكربون، ومن أمثلتها الإثير والكحول والأسيتون وما إليها، وهى جميعها سوائل مخلقة فى المعامل، ولا توجد طبيعيا على سطح الأرض.

ولا يوجد من السوائل الطبيعية بجوار الماء إلا سائل البترول المستخرج من باطن الأرض، وفلز الزئبق الذى يكون على هيئة سائل فى درجات الحرارة العادية، وهو فلز نادر الوجود.

ويشترك الماء مع الهواء فى تكوين ما يعرف «بالغلاف الحيوى» «Biosphere»، وهو غلاف وهمى يحيط بالأرض، وتتركز فيه الحياة بكل أنواعها ومظاهرها، وتعيش فيه الكائنات الحية فى حدود ضيقة يحددها التوازن بين احتياجاتها الطبيعية والعضوية.

وتعيش الأسماك فى جزء من هذا الغلاف تحت سطح البحر ومعها كثير من الحيوانات والنباتات المائية الأخرى، ولا يزيد عمق هذا الجزء من الغلاف المائى على ستة أميال على الأكثر، أى نحو تسعة كيلو مترات ونصف، بينما تعيش فوق سطح الأرض أنواع أخرى من الحيوانات والنباتات فى الجزء الهوائى من الغلاف على ارتفاع لا يزيد كذلك على ستة أميال أخرى، مثل بعض الطيور وبعض حبوب اللقاح التى يحملها الهواء إلى هذا الارتفاع.



وحتى الكائنات الحية التى تعيش فى الجزء الهوائى من هذا الغلاف الحيوى، تحتاج إلى الماء فى حياتها، وهكذا نجد أن هذه المركبات أو المواد الكيميائية البسيطة، مثل الماء والهواء هى التى تساند الحياة على سطح الأرض.

وعلى الرغم من أن الماء يعتبر سائلا حيويا هاما بالنسبة لأجسام مختلف الكائنات الحية، فهو يعتبر كذلك سائلا بيئيا خارج أجسام هذه الكائنات الحية، فمياه المحيطات تمثل عاملا هاما فى حفظ درجة حرارة سطح الأرض، كما أنها تمثل مخزنا هاما لكثير من الأملاح والخامات والفلزات.

كذلك تمثل مياه الأمطار عاملا هاما من أهم عوامل التعرية، وهى دائبة الحركة تذيب كثيرا مما يصادفها من مواد التربة، وتجرف أمامها فى طريقها كثيرا من فتات الصخور والرمال.

والماء هو الماء فى أى مكان، فماء النبع الصافى الذى ينبثق من سطح الأرض لا يختلف فى تركيبه عن ماء المحيط، وقد يختلف عنه قليلا فى نسبة ما يحمله من أملاح، ولكن تركيبه الكيميائى يظل ثابتا، وهو ليس أصغر منه عمرا، فقد تكونت كل مياه الأرض فى مرحلة واحدة من مراحل عمر الأرض.

كذلك فإن مياه الأنهار والبحيرات ومياه المستنقعات وجليد الثلاجات، لا تختلف فى تركيبها عن المياه الجوفية أو مياه البحار والمحيطات أو بخار الماء الموجود فى الهواء، فما هى إلا صور متباينة لهذا المركب الكيميائى البسيط الذى نطلق عليه اسم الماء.

وحتى المياه التى تحتوى عليها خلايانا وأجسامنا، فهى لا تختلف كذلك فى شىء عن بقية أنواع المياه الأخرى، فقد دخلت هذه المياه إلى خلايانا عن طريق الشرب من مياه الأنهار التى تكونت من سقوط مياه الأمطار التى نتجت بدورها من تكثف البخار المتصاعد من مياه المحيطات والبحار.

ولأن الماء هو سائل الحياة، فقد خلقه الله لنا بوفرة هائلة، فهو يغطى مساحة كبيرة جدا من سطح الأرض، كما توجد منه كميات كبيرة مختزنة تحت سطح الأرض على هيئة مياه جوفية حتى فى الأماكن التى قد تبدو لنا قاحلة ظاهريا، مثل المناطق الجرداء والمناطق الجبلية الصخرية والصحروات.



الباب الأول

الــمــاء

وجوده - تركيبه - خواصه

الفصل الأول

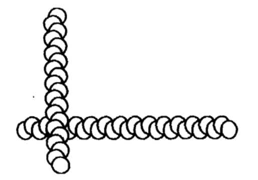
أين يوجد الماء فى هذا الكون؟

الفصل الثانى

التركيب الجزيئى للماء

الفصل الثالث

خواص الماء





الفصل الأول

أين يوجد الماء فى هذا الكون؟

الماء هو أحد العناصر الأربعة التى افترض الفيلسوف الإغريقى أرسطو أن العالم يتكون منها، وهى الماء والهواء والأرض والنار.

وقد كان من المعتقد حتى زمن قريب، أن الماء لا يوجد فى هذا الكون إلا على سطح الأرض فقط، ولكن من المعروف الآن أن الماء قد يوجد بنسب مختلفة فى بعض أرجاء هذا الكون الرحيب، وهو إما أن يوجد على هيئة بخار، أو على هيئة جليد، ولكن يندر أن يوجد على هيئة سائل الماء، بل يبدو طبقا لمعلوماتنا الحالية، أن وجود الماء فى حالته السائلة شيء تختص به الأرض وحدها دون غيرها بين سائر أجرام هذا الكون!.

ومن المعتقد أن بخار الماء كان موجودا ضمن مكونات السحابة الغازية التى تكونت منها مجموعتنا الشمسية، وعندما بردت أجزاء هذه السحابة التى تكونت منها الكواكب المعروفة فيما بعد، بقى جزء من هذا الماء على هيئة بخار فوق بعض هذه الكواكب فيما بعد، بينما تحول بعض منه إلى سائل أو إلى جليد فوق بعضها الآخر.

ويبدو أن توزيع الحرارة الصادرة من الشمس والتى تستقبلها هذه الكواكب هو الذى أدى إلى اختلاف الحالة التى يوجد عليها الماء على كل كوكب.

فكوكب عطارد، وهو أقرب الكواكب إلى الشمس، يتلقى أكبر قدر من الحرارة من الشمس، ولذلك نجد أن سطحه يخلو تماما من الماء بكل صوره، بينما نجد أن الماء ينتشر على سطح الأرض فى حالاته الثلاث وهى البخار والسائل والجليد، فينتشر البخار فى غلافها الجوى ويملأ السائل بحارها وبحيراتها، بينما يغطى الجليد قمم الجبال ويكوّن طبقة سميكة فوق قطبى الأرض.

أما الكواكب الخارجية للمجموعة الشمسية، وهى الكواكب التى تدور حول الشمس فى مدارات أكبر من مدار الأرض، وتستقبل سطوحها قدرا ضئيلا من حرارة الشمس، فلا يوجد بها الماء إلا على هيئة جليد فقط.

ويقع كوكب الزهـرة بين مدارى كل من عطارد والأرض، ولذلك فـإن قربها من الشمس يجعـلها تستقبل من طاقة الـشمس ضعف ما تستقبـله الأرض من هذه الطاقة، ولهذا نجد أن درجة حـرارة سطح الزهرة العالية قد أدت إلى تبخـر كل ما كان بها من ماء واندفاعه إلى طبقات جوها العليا.

ومن المعـتقد أن استـمرار تعرض بخـار الماء المنتـشر فى طبقـات جو الزهرة العليا، للأشـعة فوق البنـفسجـية القوية الصادرة من الشمـس، قد أدى إلى تفكك هذا البخار تدريـجيا إلى مكوناته الأساسيـة وهى غاز الهدروچين وغاز الأكسـچين، اللذان هربا بعد ذلك، بمرور الزمن، إلى الفضاء الخارجى.

وقد أمكن حســاب كمية الماء الذى كـان يفترض وجوده فى الزمن الـقديم فوق كوكب الزهرة بحساب كمية غاز الديوتيريوم الموجود بغلافها الجوى اليوم (انظر تركيب الماء).

ويوجد الديوتيـريوم بنسبة ١ - ٦٠٠٠ تقريـبا فى جزيئات الماء الـموجود على سطح الأرض، أى أنه من بين كل ستة آلاف جزىء من جـزيئات الماء التى تتكون من الهدروچين والأكسچين، يوجد جزىء واحد يتكون باتحاد الديوتيريوم مع الأكسچين.

ونظرا لأن جزيـئات الديوتيريوم أثـقل من جزيئات الـهدروچين فقد اسـتطاعت جزيئات الهدروچين الخـفيفة ذات السرعة العالية أن تتغلب عـلى جاذبية كوكب الزهرة وأن تهرب إلى الفضاء الخارجى، بينما تبقى جـزء كبير من جزيئات الديوتيريوم الأثقل وزنا والأقل سرعة، دون أن تهرب إلى الفضاء، واستـمر هذا الجزء منتشرا فى الغلاف الجوى لكوكب الزهرة.

وقد تبين من التحاليل التى قامت بها سفينة الفضاء «بايونير»، أن الغلاف الجوى لكوكب الزهرة يحتـوى على قدر من غاز الديوتيريوم يزيد على مـا يوجد منه بالغلاف الجوى للأرض بنحو مائة مرة.

وقد أمكن من هذه الـقياسات حساب كمـية المياه المفتـرض وجودها فى الزمن القديم علـى سطح الزهرة، وقدرت هذه الكمـية بأنها لو بقـيت على هيئة سـائل الماء لغطت سطح هذا الكوكب بطبقة لا يقل سمكها عن عشرين مترا.

ومن المعقول أن نفترض أن بعضا مـن ذرات أو جزيئات الديوتيريوم قد استطاع الهرب إلـى الفضاء الـخارجى مع ذرات أو جـزيئات غاز الـهدروچين، ولذلـك لنا أن نتصور أن كمية غاز الديوتيريوم المقاسة اليوم فى جو الزهرة تقل بكثير عما كان بها فى الزمن القديم.

ويعنى ذلك أن سمك طبقة المياه المفترض وجودها فوق سطح الزهرة فى الزمن القديم قد يكون أكثر من التقدير السابق بكثير.

وما زال هنـاك قدر ضئيل مـن بخار الماء فـى الطبقات الـعليا للغـلاف الجوى للزهرة حتى الآن، وهو يمثل الجزء الذى لم يتحلل بعد بتأثير الأشعة فوق البنفسجية،

ومن المعتقد أنه إذا حولنا هذا الجزء المتبقى إلى سائل، فإنه سيكوّن طبقة رقيقة من الماء فوق سطح الكوكب لا يزيد سمكها على عشرين سنتيمترا على الأكثر.

ومن المعتقد أن هروب بخار الماء من فوق سطح كوكب الزهرة إلى الفضاء الخارجى هو السبب الرئيسى فى امتلاء جو هذا الكوكب بغاز ثانى أكسيد الكربون، فبينما نجد أن نسبة ثانى أكسيد الكربون تصل فى غلاف الزهرة إلى نحو ٩٥ ٪، نجد أن هذه النسبة تقل كثيرا جدا فى الغلاف الجوى للأرض ولا تزيد فيه على ٠٣ , ٠ ٪.

ويعزى هذا التفاوت الكبير فى نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون بين كل من الأرض والزهرة، إلى أن الماء الموجود على سطح الأرض قد أذاب جزءا كبيرا من غاز ثانى أكسيد الكربون الذى كان يوجد بغلافها الجوى فيما مضى، محولا إياه إلى حمض الكربونيك، ثم تفاعل هذا الحمض مع بعض مكونات قشرة الأرض مكونا مركبات تعرف باسم الكربونات والبيكربونات.

أما فى حالة كوكب الزهرة، فإن هروب بخار الماء إلى الفضاء الخارجى ترك كل ما كان بها من غاز ثانى أكسيد الكربون عالقا بغلافها الجوى.

ويتساءل بعض الناس، هل سيستمر الماء موجودا على سطح الأرض على هيئة سائل إلى الأبد!؟ أم هل سيأتى حين من الدهر ترتفع فيه درجة حرارة الأرض إلى حد يؤدى إلى تبخير الماء وهروبه من على سطح الأرض!؟

يعتقد بعض العلماء أن الطاقة الحرارية للشمس تزداد كل مائة سنة بنحو ١ ٪ من طاقتها العادية، ويعنى ذلك أنه بعد مرور نحو ١٠٠٠ مليون سنة من الآن، ستزداد الطاقة الحرارية للشمس بنسبة ١٠ ٪ تقريبا من طاقتها الحالية، وعند هذا الحد سيتبخر الماء من على سطح الأرض، ويهرب إلى الفضاء الخارجى، تاركا سطح الكرة الأرضية جافا ويابسا وخاليا من الحياة.

ولا يسبب لنا هذا الفرض أى إزعاج فى وقتنا الحالى، فلا يدرى أحد ما ستحمله لنا الأيام بعد هذا العمر الطويل، بل قد لا تستمر الحياة على سطح الأرض كل هذا الزمن!.

وقد بينت الصور التى التقطتها سفن الفضاء التى هبطت على سطح كوكب المريخ، أن هناك كميات ضخمة من الجليد المختلط بسطح تربته مكونة ما يعرف بالصقيع «Permofrost».

كذلك بينت بعض هذه الصور أن جزءا من هذا الصقيع يتحول إلى بخار يملأ بعض أخاديد الكوكب عندما يتعرض سطح الكوكب للشمس نهارا وترتفع درجة حرارته

قليلا، ولكن هذا البخـار يتحول مرة أخرى إلى صقيع عندما تـغيب الشمس عن سطح الكوكب.

وقد لوحظ أن القطب الشمالى لكوكب المريخ يـتغطى بطبقة لامعة من الجليد، وقد ظن بـعض العلمـاء فى أول الأمر أن هذه الطـبقة تتـكون من جليـد ثانى أكسـيد الكربون الناتج من تجمد غاز ثانى أكسيد الكربون الموجود بجو الكواكب عند انخفاض درجة حرارة سطح الكوكب، وقد اتضح الآن أن درجـة حرارة القطب الشمالى لكوكب المريخ لا تنخفض عـن -٧٣ْ س تحت الصفر، ولا يمكن أن يتجمد غـاز ثانى أكسيد الكربون عند هذه الدرجة، فهو لا يتحول إلى جليد إلا عند - ٨٠ْ س تحت الصفر.

وقد استقر الرأى حـاليا على أن هذه الطبقة اللامعة التى تغـطى القطب الشمالى للمريخ تتكون بصفة قاطعة من الجليد الناتج من تجمد بخار الماء.

وقد قدر حجم الجليد الناتج من تجمـد بخار الماء الموجود فوق سطح المريخ فوجد أنه يمكن أن يصنع مكعبا من الثلج طول كل ضلع من أضلاعه ٣٢ كيلو مترا.

ويعتقد بعض الـعلماء أن الجو السائد على سطح كوكب المـريخ منذ نحو ثلاثة آلاف مليون سنـة ونصف، كان أكثر دفـئا مما هو عليـه الآن، وربما كان مشابـها لجو الأرض الحالى إلى حد ما، وكان غلافه الجوى كثيفا قبل أن تهرب منه الغازات وبخار الماء إلى الفضاء الخارجى، وقد سمحت هذه الظروف بنزول الأمطار وتجمع المياه فى الأنهار وفى البحار فوق سطح المريخ فى تلك الحقبة من الزمان.

ومن المعتـقد الآن أن هناك كميات كـبيرة من الماء المـتجمد على هيئـة صقيع تحت التربة السطحية للمريخ، وقد يبلغ سمك هذه الطبقة فى بعض التقديرات إلى عدة كيلو مترات.

ومما يعزز هذا الاعتقاد أن عينات تربة المريخ التى أحضرتها معها سفينة الفضاء «فايكنج»، أعطت عند تـسخينها بعض قطرات من الماء ممـا يدل على أن بعض الماء الموجود فوق سطح المريخ قد يكون مرتبطا بذرات التربة الناعمة.

كذلك يحتوى الغلاف الجوى للمريخ على قدر صغير من غاز الأكسچين لا يزيد على ١٪ تقريبا من مجموع غازات هذا الغلاف، وهناك اعتقاد بأن هذا الغاز قد نشأ فى غلاف الكوكب نتيجة لانحلال بعض جزيئات بخار الـماء بتأثير الأشعة فوق البنفسجية القوية الصادرة من الشمس.



أما بالنسبة للكواكب الخارجية الأخرى، فيوجد الماء على هيئة جليد فوق كثير من الأقمار التابعة لها، ومن أمثلة ذلك أحد توابع المشترى المعروف باسم «يوروبا» «Europa» الذى يتغطى سطحه بطبقة من الجليد.

كذلك تتغطى بعض أجزاء من أسطح بعض توابع المشترى الأخرى مثل «جانيميد» «Ganymede» «وكاليستو» «Callisto» بطبقة سميكة من الجليد.

وهناك بعض التوابع الأخرى مثل «إيابتيوس Iapetus» و«هايبريون Hyperion»، وهما من توابع كوكب زحل، تتكون كتلتها الرئيسية بنسبة عالية من الجليد.

وقد تبين من دراسة أطياف بعض السحب الغازية الموجودة بمجرتنا، أن بعض هذه السحب يحتوى فى ثنايا غازاته الساخنة على قدر غير قليل من بخار الماء.

كذلك وجدت بعض آثار من بخار الماء فى غلاف الغازات المحيط ببعض نجوم العمالقة الحمراء والتى تصل درجة حرارة سطوحها إلى ٣٠٠٠ أو ٤٠٠٠° س.

بالإضافة إلى ذلك فقد تم اكتشاف كميات كبيرة من الجليد فى رءوس بعض المذنبات التى تدور حول الشمس، ويقترب بعضها أحيانا من الأرض، وقد ثبت ذلك من بعض الفحوص التى قامت بها إحدى سفن الفضاء على مذنب هالى عند اقترابه من الأرض منذ عدة أعوام.

ويتضح من كل ذلك أن الماء يوجد فى كل مكان من هذا الكون إما على هيئة بخار وإما على هيئة جليد، ولكنه يوجد على سطح الأرض على هيئة سائل الماء الذى ساعد على نشأة الحياة على سطحها.



الماء والحياة

يعتقد كثير من العلماء أن البحار والمحيطات كانت البوتقة الأولى التى ظهرت فيها الحياة، وأن أولى الكائنات الحية وحيدة الخلية قد نمت فى هذه البحار، ثم تطورت بعد ذلك وتحولت إلى كائنات حية أخرى أشد تعقيدا وأكثر تقدما.

ويعتقد هؤلاء العلماء أن جزءا من هذه الكائنات الحية قد استطاع أن يخرج بعد ذلك من ماء البحر ليعيش على سطح الأرض، بينما بقى جزء آخر منها ليستكمل حياته فى مياه البحار.

وهناك من يرون أن أولى الخطوات فى نشأة الحياة كانت عن طريق عمليات التطور الكيميائى، وهى عمليات كيميائية تبدأ بتفاعل ذرات بعض العناصر معا لتكوين أصناف مختلفة من المركبات، وأن أولى هذه العمليات قد بدأت فى جو الأرض منذ نحو ٤٠٠٠ مليون سنة.

وكان جو الأرض فى بداية نشأتها غنيا بغازى الهدروچين والنتروچين، وكان يحتوى كذلك على نسبة مرتفعة من غاز ثانى أكسيد الكربون، ولكنه كان خاليا تماما من غاز الأكسچين، الذى اتحد أغلبه بجزء من غاز الهدروچين مكونا الماء، واتحد ما تبقى منه من المواد المكونة لقشرة الأرض مكونا العديد من الأكاسيد وعديد من المركبات.

ونظرا لأن جو الأرض كان معرضا فى ذلك الحين لتركيزات عالية من الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس، كما كان معرضا لكثير من العواصف والأعاصير، وتتخلله آلاف من صواعق البرق فى الدقيقة الواحدة، فقد أدى ذلك إلى اتحاد بعض جزيئات غاز ثانى أكسيد الكربون مع بعض ذرات الهدروچين، وتكونت بذلك عدة أصناف من الجزيئات الجديدة المحتوية على كل من الكربون والهدروچين والمعروفة* باسم الهيدروكربونات.

وقد نتج عن ذلك أن ظهر بجو الأرض غاز الميثان وبعض الجزيئات العضوية الأخرى المحتوية على الكربون والهدروچين والأكسچين والنتروچين.

وعندما ذابت بعض هذه الجزيئات الصغيرة فى مياه البحار، بدأت بينها بعض التفاعلات الكيميائية الأخرى عندما وجدت الظروف المناسبة لذلك، خاصة فى المياه الشاطئية الضحلة والدافئة، والتى كانت تستقبل كميات لا بأس بها من الأشعة فوق البنفسجية.



وقد أدى ذلك تكوين أنواع أخرى جديدة من الجزيئات المحتوية على عنصر الكربون والتى تميزت بكبر جزيئاتها وبتنوع صفاتها وخواصها.

وبمضى الزمن ازداد تعقيد تركيب هذه الجزيئات، وازداد تركيزها فى هذه المياه لدرجة أن بعض العلماء يشبهون هذه المياه الضحلة بالحساء الغنى بالمواد العضوية.

ومن المعتقد أنه قد نشأ فى هذه المرحلة نوع خاص من الجزيئات استطاع أن يكون نسخا بدائية من نفسه، وهو يعتبر بذلك أول سلف لجزىء الحمض النووى الذى نعرفه اليوم والذى نطلق عليه اسم «حمض ديزوكسى رايبوز النووى» «Desoxyribonucleic Acid» ونرمز له بالرمز «دنا» «DNA» والذى يوجد اليوم فى خلايا جميع الكائنات الحية، وهو الجزىء المسئول عن انتقال الصفات الوراثية من كائن حى إلى آخر.

وبمضى الزمن تجمعت بعض هذه الجزيئات المختلفة لتكون فيما بينها مجتمعا كاملا تعددت فيه الوظائف والمهام، ويعتبر هذا التجمع أول صورة من صور الخلايا الحية، والخطوة الأولى لتكوين الكائنات الحية وحيدة الخلية التى اعتمدت على نفسها كلية والتى انتشرت فى مياه البحار ومياه المستنقعات.

وقد تطورت هذه الكائنات الوحيدة الخلية خلال الثلاثة آلاف مليون سنة التى تلت ذلك، وبدأت بعد ذلك فى الالتحام منعا لتكوين مستعمرات من الخلايا المتجمعة، وظهرت بذلك أولى الكائنات الحية التى تتكون أجسامها من عدد من الخلايا.

وقد حدثت كل هذه التطورات فى مياه البحار فى أول الأمر، ثم خرجت بعض هذه الكائنات من مياه البحر لتعيش على الشاطئ تحت تأثير تيارات المد والجزر القوية التى كانت سائدة فى ذلك الحين.

وهناك اعتقاد بأن القمر فى ذلك الزمان كان يدور حول الأرض فى مدار أقرب إليها من مداره الحالى، ولذلك كانت تيارات المد والجزر الناشئة عن جذب القمر لمياه البحار، أقوى بكثير مما هى عليه الآن.

وكانت تيارات المد القوية تحمل معها بعض الكائنات الحية التى تعيش فى البحر، وتقذف بها على الشاطئ إلى مسافات بعيدة عن الماء، ولذلك فإن بعض هذه الكائنات لم يكن يستطيع العودة إلى البحر عند انحسار الماء مع تيار الجزر، بل يبقى فى مكانه معرضا لأشعة الشمس المباشرة ومعرضا للجفاف الشديد، وكان كثير منها

يصاب بالعجز لقلة ما يصل إليها من الأكسجين، فلم تكن مثل هذه الكائنات البحرية قادرة على استخلاص غاز الأكسجين مباشرة من الهواء.

وقد استطاعت أعداد قليلة من هذه الكائنات أن تتأقلم مع هذه الظروف الجديدة، وتمكنت من أن تبقى حية عدة ساعات حتى يأتى تيار المد التالى.

وقد ترتب على ذلك أن استطاعت مجموعة من هذه الكائنات أن تعيش جزءا من حياتها فى الماء، وتقضى الجزء الآخر على الشاطئ، فنشأ بذلك نوع جديد من الكائنات البرمائية، ثم تمكنت بعض هذه الكائنات من أن تقضى كل حياتها على البر.

ونظرا لأن كل هذه الكائنات الحية قد نشأت أصلا فى مياه البحار، فقد كان الماء بالنسبة لها يمثل شيئا هاما لا يمكن الاستغناء عنه، وحتى الكائنات التى استطاعت أن تخرج من مياه البحر لتعيش على البر، لم تستطع أن تتخلص تماما من الماء الذى كانت تعيش فيه من قبل، بل نجد أنها قد حملت بعض هذا الماء فى خلاياها وفى أنسجتها، وقد تصل نسبة هذا الماء فى بعض الأحيان إلى ما يزيد على ٦٠٪ من وزن جسم الكائن الحى.

وتتوقف نسبة الماء الموجود بجسم الكائن الحى على نوع هذا الكائن، فكمية الماء الموجود بأجسام النباتات تختلف عن كمية الماء الموجود بأجسام الحيوانات .

كذلك يعتمد ذلك على حالة كل فرد من الأفراد، فالإنسان البدين مثلا يحتوى جسمه على نسبة عالية من الماء تزيد على كمية الماء الموجود بجسم الإنسان الهزيل.

ولا يتوزع الماء بجسم الإنسان توزيعا منتظما فى كل أجزائه، فقد تصل نسبة الماء فى غشاء الأسنان إلى ٢ ٪ فقط، بينما تبلغ هذه النسبة إلى أعلى حد ممكن فى الدم، فتصل إلى نحو ٨٣ ٪.

ولا تتوقف حركة الماء فى جسم الكائن الحى، فهذا الماء دائب الحركة والانتقال من مكان لآخر فى داخل الجسم، فالماء يوجد فى داخل الخلايا وفى خارجها، وينتقل بينها بشيء كبير من الحرية، أى أن الأنسجة الحية لا تعوق حركة الماء داخل جسم الكائن الحى.

وتخضع كمية الماء الموجود بجسم الكائن الحى لتوازن بالغ الدقة لا تحيد عنه أبدا، وقد تستطيع أفراد المملكة النباتية أن تتحمل فروقا كبيرة فى نسبة الماء فى أجسامها، ولكن أفراد المملكة الحيوانية لا يستطيعون أن يتحملوا فروقا فى نسبة الماء تزيد على ٢ ٪ على الأكثر، فالماء لا يمكن أن يزيد فى أجسامها عن حدود معينة، ولا يمكن نقصانه منها بشكل ظاهر.



وكل كائن حى مزود بوسائله الخاصة التى يمكن بها أن يستعيض عما يفرزه جسمه من الماء، فالنباتات لها جذور تمتص الماء من التربة، كما أن أوراقها قد تقوم فى حالات خاصة بامتصاص الماء.

أما فى حالة الحيوانات أو الإنسان، فغالبا ما يتم تعويض ما تفقده من ماء عن طريق الشرب.

ولا يستهان بكفاءة النباتات فى هذا المضمار، فأغلب النباتات مزودة بشبكة هائلة من الجذور التى تندس فى التربة بحثا عن الماء والغذاء، وقد تبلغ بعض هذه الجذور حدا هائلا من الطول، ففى حالة شجر «السيكويا» قد تمتد هذه الجذور داخل التربة لمسافة طويلة تصل فى بعض الأحيان إلى سبعة عشر مترا أو أكثر.

وقد يحتوى مشتل واحد من مشاتل النباتات على نحو ألف مليون جذر وجذير، ولو أن هذه الجذور وضعت فى صف واحد لبلغ طولها نحو مائة كيلو متر على وجه التقريب، وكل ذلك من أجل الحصول على الماء وما به من غذاء من بين مسام التربة وفتات الصخور.

وبمجرد أن يشرب الحيوان أو الإنسان العطشان، فإن الماء يقوم فى الحال بعدد من المهام الرئيسية، فيبدأ هذا الماء فى الانتشار فى الجسم ليصل إلى كل خلية من خلاياه، حاملا معه الغذاء الذائب فيه وحاملا معه غاز الأكسچين، ثم يقوم بتنشيط مختلف التفاعلات الكيميائية الحيوية فى كل الخلايا، ويقوم بسحب الشوائب والفضلات غير المرغوب فيها لإفرازها خارج الجسم.

ومما هوجدير بالذكر أن الكائن الحى لا يستطيع أن يتحمل زيادة نسبة الأملاح فى جسمه عن حدود معينة، لا تزيد عادة على ٩ ٪ على الأكثر، وأى خلل فى مثل هذه العمليات الحيوية قد يؤدى إلى الإصابة بالعلل وقد يؤدى إلى الوفاة، ولذلك يتحتم أن يتناول الكائن الحى قدرا ثابتا من الماء، أو من السوائل كل يوم حتى يستطيع جسمه القيام بكل العمليات الكيميائية الحيوية الأساسية.

وتجرى العمليات الكيميائية فى داخل جسم الكائن الحى وخاصة فى جسم الإنسان فى نظام ورتابة مثل دقات الساعة، ولكننا قليلا ما نشعر بها، فأغلبها يتم فى صمت وفى سكون تام، ويكون الماء هو الوسط الذى تتم فيه هذه العمليات.

ولولا وجود الماء فى الخلية الحية لفقدت هذه الخلية ما بها من مظاهر الحياة، فنشاط الخلية الحية يعتمد أساسا على ما يذوب بهذا الماء من مركبات، وعلى ما ينتشر فيه من مواد غروانية، وكلما زاد نشاط الخلية الحية زاد احتياجها للماء، فخلايا الجهاز العصبى مثل خلايا المخ والحبل الشوكى تحتاج إلى قدر كبير من الماء لأنها تستهلك قدرا كبيرا من الأكسچين فى عملها، بينما لا تحتاج الخلايا المكونة للأنسجة الدهنية إلى نسبة عالية من الماء؛لأنها لا تحتاج إلى نسبة مرتفعة من الأكسچين.



الفصل الثانى

التركيب الجزيئى للماء

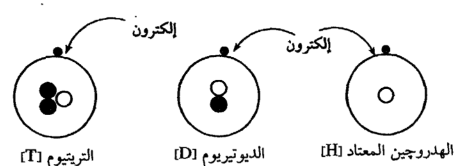
كان الاعتقاد السائد منذ قديم الزمان، أى منذ عصر المفكر الإغريقى فيثاغورس، أن الماء عنصر بسيط أو عنصر أساسى لا يمكن تحليله إلى مكونات أخرى.

وقد أهمل هذا الاعتقاد فى بداية القرن الثالث عشر عندما تبين أن الماء يتكون فى حقيقة الأمر من عنصرين معا، هما الهدروچين والأكسچين.

وأول من وضح هذه الحقيقة بتجربة عملية لا خلاف عليها هو العالم البريطانى «كافنديش» «Cavendish»، وذلك عندما مرر تيارا من الكهرباء فى الماء، فتحلل الماء إلى عنصريه معطيا حجمين من غاز الهدروچين وحجما واحدا من غاز الأكسچين.

ويعبر الكيميائيون اليوم عن تركيب جزىء الماء برموزهم الخاصة فيكتب كما يلى [H_2O] للدلالة على أن جزىء الماء يتكون من ذرتين من ذرات الهدروچين، ورمزه [H]، ومن ذرة واحدة من ذرات الأكسچين ورمزه [O].

وهذا التعبير ليس دقيقا بشكل كاف، فهو وإن كان يمثل نموذجا مقبولا لجزىء



○ بروتون يحمل شحنة موجبة

● نيوترون متعادل الشحنة

نظائر الهدروچين
(شكل ١)



الماء، إلا أنه لا يمثل الأمر الواقع تماما، فنحن لا نستطيع أن نغفل أن الماء يتكون فى حقيقة الأمر بنسب متفاوتة من ثلاثة أنواع من الجزيئات يدخل فى تركيبها ثلاثة أنواع مختلفة من غاز الهدروچين (شكل ١).

والأنواع الثلاثة للهدروچين هى الهدروچين المعتاد الذى تحتوى نواة ذرته على بروتون موجب واحد فقط، ويرمز له بالرمز [H]، والديوتيريوم الذى تتكون نواة ذرته من بروتون موجب ونيوترون متعادل، ويرمز له بالرمز [D]، والتريتيوم الذى تتكون نواة ذرته من بروتون موجب واحد بالإضافة إلى نيوترونين متعادلين، ويرمز له بالرمز [T].

وتعرف هذه الأنواع الثلاثة باسم نظائر الهدروچين، وهى تتشابه فى خواصها الكيميائية ولكنها تختلف فى أوزانها الذرية، فالوزن الذرى للهدروچين العادى = ١ والوزن الذرى للديوتيريوم = ٢ والوزن الذرى للتريتيوم = ٣.

وتتحد هذه النظائر مع غاز الأكسچين لتعطى ثلاثة أنواع من الجزيئات هى الماء المعتاد، وأكسيد الديوتيريوم وأكسيد التريتيوم.

H_2O	D_2O	T_2O
الماء العادى	أكسيد الديوتيريوم	أكسيد التريتيوم

ويتكون الماء عادة من هذه الأصناف الثلاثة من الجزيئات، ولكن الصنف الغالب من هذه الجزيئات هى تلك الجزيئات التى يدخل فى تركيبها غاز الهدروچين العادى، أى [H_2O]، ولذلك يستخدم هذا الرمز للدلالة على التركيب العام للماء.

وجزىء الماء ليس جزيئا خطيا، بمعنى أن الذرات الثلاث المكونة للجزىء لا تقع على خط واحد بحيث تقع ذرة الأكسچين فى منتصف الخط الواصل بين ذرتى الهدروچين، ولكن الذرات الثلاث المكونة لجزىء الماء تتخذ وضعا آخر مخالفا

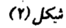


جزىء خطى
تقع فيه ذرة الأكسچين فى منتصف الخط الواصل بين ذرتى الهدروچين

جزىء منحنى
تقع فيه ذرتا الهدروچين على جانب واحد من ذرة الأكسچين

● ذرة الأكسچين
O ذرة الهدروچين



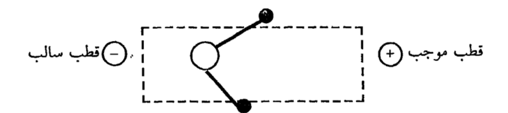


شكل (٢)

لذلك، فنجد أن ذرتى الهـدروچين تقعان على جانب واحد فقـط من ذرة الأكسچين، ويصنعان معا زاوية مقدارها ١٠٥، ويظهر جـزىء الماء بذلك على هيئة جزىء منحنى كما فى (شكل ٢).

ونظرا لأن ذرة الأكسچين أكثر ميلا للإلكترونات السـالبة عن ذرات الهدروچين، فإننا نجد أن الإلكترونات المكونة للرابطة الكيميائية التى تربط بين هذه الذرات، تكون أكثر قربا من ذرة الأكسچين.

ويترتب على ذلك أن يصبح جزىء الماء ذا طرفين، طرف سالب نسبيا وتقع فيه ذرة الأكسچين، وطرف موجب إلى حد ما، وتشغله ذرتا الهدروچين، ويصبح الجزىء بهذا الوضع مشابها للمغنطيس، ويوصف بأنه جزىء قطبى (شكل ٣).



جزىء الماء القطبى
وهو يشبه المغنطيس وله قطبان أحدهما سالب ناحية ذرة الأكسچين
والآخر موجب ناحية ذرتى الهدروچين
(شكل ٣)

الماء الثقيل:

يتكون الماء الثقـيل بنسبة عالية من أكسـيد الديوتيريوم [D_2O]، وهو يـحضـر بالتحليل الكهربائى للماء، وعندما ينتهى التحليل الكهربائى لأغلب الماء، فإن ما يتبقى منه يحتوى على نسبة عالية من جزيئات [D_2O] ويعرف باسم الماء الثقيل.

ويستـعمل الماء الثـقيل كثيـرا فى بحوث الكيمـياء النووية كمـا يستعمل مـهدئا لتفاعلات الانشطار فى بعض المفاعلات النووية.

ويستعمل أكسـيد التريتيوم [T_2O] فى بعض البحوث الـنووية أيضا، وهو أحد مكونات القنبلة الهدروچينية.

وهناك بعض جزيئات للماء تتكون باتحاد الهدروچين مع بعض نظائر الأكسچين الأخـرى، وهى النظـائر التى يـكون وزنهـا الذرى ١٧ أو ١٨، بدلا من الـوزن الذرى المعتاد لذرة الأكسچين والبالغ ١٦.

ويعتبر الماء المـحتوى على نظائر الأكسچين مادة ذات أهميـة خاصة عند علماء الچيولوچيا، فهـو يعتبر ترمومترا چيولوچيا يمكن بـواسطته قياس درجة حرارة الأرض وتحليلها خلال العصور الچيولوچية القديمة.



الفصل الثالث

خواص الماء

توجد المادة فى حالات ثلاث، هى الحالة الغازية، والحالة السائلة، والحالة الصلبة.

وتتحول المادة من حالة إلى أخرى عند تغير الظروف المحيطة بها مثل الضغط أو درجة الحرارة.

والتغير الذى يحدث للمادة عندما تمر من حالة إلى أخرى، تغير ظاهرى فقط، أى أنه يتناول الشكل الظاهرى للمادة دون أن يتغير تركيبها الكيميائى فتبقى بذلك خواصها الكيميائية ثابتة دون تغير، ولذلك يوصف مثل هذا التغير بأنه تغير طبيعى فقط، وذلك لأنه لا يتعدى التغير فى خواص المادة الطبيعية فقط.

ويوجد الماء على سطح الأرض فى هذه الحالات الثلاث فى نفس الوقت، فهو يوجد فى حالته السائلة على هيئة سائل الماء الذى يملأ البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات، ويملأ كذلك خلايا الكائنات الحية وأنسجتها المختلفة، كما يوجد فى خلال الصخور وفى مسام الطبقات السطحية من الأرض فى صورة مياه جوفية.

ويوجد الماء فى حالته الصلبة على هيئة الجليد الذى يغطى سطح الأرض فى المناطق الباردة كما فى القارة القطبية الجنوبية التى تتغطى بأكملها بالجليد طوال العام، أو قد تتجمد إليه مياه المحيط كما فى الدائرة القطبية الشمالية، كذلك يوجد الماء فى حالته الصلبة على هيئة بلورات من الثلج فى طبقات السحب الركامية التى تسبح فى طبقات الجو العليا، أو تتغطى به قمم بعض الجبال العالية.

ويوجد الماء كذلك فى حالته الغازية فى كل مكان، فهو ينتشر فى الغلاف الجوى المحيط بالأرض على هيئة بخار، وتتراوح نسبته فى الطبقات السفلى من هذا الغلاف بين ١٠,٠ إلى ٤ ٪ فى الأحوال العادية.

وقد لا يصدق البعض أن الهواء الجوى يحتوى على قدر من بخار الماء، وذلك لأننا لا يمكننا رؤية هذا البخار فى الأيام الجافة الصافية، ولكن هذا البخار المنتشر فى

الهواء يُظهر نفسه من حين لآخر إما على هيئة سحب متعددة الأشكال تسبح فى الهواء، وإما على هيئة مطر يتساقط من هذه السحب على سطح الأرض.

كذلك قد يظهر هـذا البخار على هيئة ندى يبلل كل شـىء فى الصباح، أو على هيئة صقيع يغطى أطراف الحشائش وفروع الأشجار فى أيام الشتاء الباردة.

ولابد أننا قد لاحظنا تكثف بخار المـاء الموجود فوق الأسطح الباردة، فنجد أن السطح الخـارجى للكوب المحـتوى على ماء بارد يبـتل بعد قليل، كمـا نرى أن بضع قطرات من الماء قد تتجـمع على سطح زجاجة المياه الغازية المـثلجة فى أيام الصيف الرطبة.

وتظهر هـذه القطرات على الأسطح البـاردة نتيجة لتـكثف بخار الماء الـموجود بالجو على هذه الأسطح.

وعلى الرغم مـن صغر كمـية بخار المـاء الموجود بالهـواء، فإننا إذا كشـفنا كل البخار الموجود بالجـو دفعة واحدة لتكون لدينا قدر كبير من المـاء يكفى لتغطية سطح الأرض كله بطبقة سمكها نحو ٢,٥ من السنتيمترات.

ويظهر بخار الماء المنتشر فى الهواء بصورة واضحة تماما فى ليالى الشتاء الباردة أو فى الصباح المبكر فـى بعض الأحيان على هيئة غلالة رقيقـة من الضباب تغطى كل شىء.

ويتكون الضباب من قطرات دقيقة جدا من الماء معلقة فى الهواء، ويبلغ من دقة هذه القطرات أننا يمكن أن نـضع نحو خمسة ملايين قطرة من هذه الـقطرات فى ملعقة صغيـرة، وهذا الحجم المتناهى فـى الصغر لهذه القطرات هـو الذى يبقيها مـعلقة فى الهواء.

ولا شك أن بقاء درجة حرارة سطح الأرض فى حدودها الـحالية قد سمح للماء بوجوده فى هذه الحالات الثـلاث، خاصة وجوده على هيئته السائلـة، فقد ساعد ذلك على ظهور الحياة واستمرارها فى كل مكان على سطح الأرض.

تجمع جزيئات الماء:

سبق أن وضـحنا أن جزيئات الـماء لا تتوزع فيـها الشحنات الـكهربائية بـطريقة متساوية، بل نجد أن الإلكترونات المكونة للروابط الكيميائية تميل إلى الاقتراب من ذرة الأكسجيـن مكونة بذلك طرفا سالبا لـلجزىء بينما تقع ذرات الهدروجـين فى الجانب الآخر من الجزىء مكونة طرفا موجبا للجزىء.



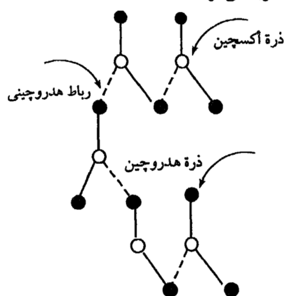
ويبدو بذلك جزىء الماء وكأنه مغنطيس ذو قطبين مختلفين، أحدهما سالب والآخر موجب، وتتسبب هذه الخاصية فى حدوث عدة ظواهر وخواص ينفرد بها سائل الماء.

وأول هذه الظواهر أن جزيئات الماء لا تبقى منفردة فى حالتها السائلة، بل تتجاذب هذه الجزيئات فيما بينها، فيجذب الطرف السالب فى أحد الجزيئات الطرف الموجب فى جزىء آخر، ويؤدى هذا التجاذب إلى اقتراب جزيئات الماء بعضها من بعض.

وتعرف هذه الظاهرة التى تتقارب فيها الجزيئات بعضها مع بعض بظاهرة التجمع، وهى تنشأ عن تكون رباطات هدروچينية بين الجزيئات المختلفة، فتقوم ذرة الأكسچين فى أحد الجزيئات بجذب ذرة الهدروچين فى جزىء آخر، وتصبح بذلك هذه الذرة الأخيرة فى موضع متوسط تقريبا بين ذرتى أكسچين فى جزيئين مختلفين مما يؤدى إلى اقتراب الجزيئات وحدوث التجمع (شكل ٤).

الماء كمذيب:

تساعد الخواص القطبية لجزيئات الماء على إذابة كثير من المواد، وهى تجعل من الماء فى واقع الأمر مذيبا فريدا فى نوعه.



تجمع جزيئات الماء عن طريق تكون رباطات هيدروچينية بين ذرات الهدروچين والأكسچين فى جزيئات مختلفة

ذرة أكسچين ○ ——— رباط كيميائي

ذرة هدروچين ● - - - - رباط هدروچينى

(شكل ٤)



وتتراوح نسبة ذوبان المواد فى المـاء من مادة إلى أخرى، فهناك مواد تذوب فى الماء بنـسبة عاليـة مثل السكر أو المـلح، وتوصف مثل هذه الـمواد عادة بأنهـا سهلة الذوبان فى الماء.

وهناك مواد أخرى تـذوب بقلة في الماء مثل كـبريتات الكالسيـوم وبعض المواد الأخرى، وتوصف هذه المواد عادة بأنها شحيحة الذوبان فى الماء.

وهناك بعض الـمواد التى يكون ذوبانـها فى الماء غيـر ملحوظ، مثـل كربونات الكالسيوم أو كبريتات الباريوم، وهى تذوب فى الـماء بنسبة ضئيلة جدا ولذلك توصف بأنها مواد عديمة الذوبان.

وتتحرك جزيئات السوائل عادة فى حركـة عشوائية طول الوقت، وتعتمد الدرجة التى تتحرك بها الجزيئات على درجة حرارة السائل، فتقل هذه الحركة بانخفاض درجة الحرارة، وتزداد بارتفـاعها، ولذلك يطلق علـى هذه الحركة العشوائـية اسم «الاهتزاز الحرارى» «Thermal Agitation».

وتنطبـق هذه الظاهرة على جـميع السـوائل دون استثـناء، وتلعب هذه الحـركة الاهتزازية للجـزيئات دورا هاما فى عمل المـاء كمذيب، وهى تساعـد على إذابة الماء لمختلف أنواع المواد.

فإذا كانت المادة المراد إذابتها فى الماء، ويطلق عليها عادة اسم «المذاب»، مادة بلورية، فإننا نجد أن الأيونات أو الذرات المكونة لهذه البلورة تترتب فيها بانتظام.

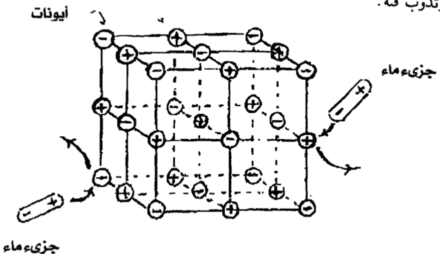
فإذا كانت البلورة تتكـون من أيونات تحمل شحنات كهربائية سـالبة أو موجبة، فإن الخاصية القطبية لجزيئات الماء تكون هى العامل الأساسى فى تفكك هذه البلورات وذوبانها.

ويحدث ذلك عندما تصطدم جزيئات الماء دائبة الحركة بسطح البلورة، فإذا كان جزىء الماء يرتطم بالبلورة بطرفه السالب فإنه يقوم بجذب الأيونات الموجبة منها، أما إذا ارتطم بسطح البلورة بطـرفه الموجب فإنه سيجذب منها الأيـونات السالبة، وبذلك تتفكك البلورة بسرعة كبيرة وتذوب فى الماء (شكل ٥).

وعندمـا تخـرج الأيونات من سـطح البلورة، تـنتشـر فى المـحلول ولا تـعود للتجاذب فيما بينها؛ لأن ثابت عزل المـاء مرتفع إلى حد ما، مما يزيد فى كفاءة الماء كمذيب.

أما إذا كانت المادة المطلوب إذابتها فى المـاء لابلورية أو مادة بلورية غير متأينة

مثل السكر، فإن الاهتزاز الحرارى لجزيئات الماء يكفى فى هذه الحالة لإذابة هذه المادة، وسيؤدى ارتطام جزيئات الماء بها إلى تفكيك هذه المادة إلى قطع صغيرة، ثم إلى فتات أصغر فأصغر، حتى تتحول فى نهاية الأمر إلى جزيئات مفردة تنتشر فى الماء وتذوب فيه.



ارتطام جزيئات الماء بسطح بلورة وانتزاع الأيونات بالخاصية القطبية
(شكل ٥)

ويمكننا ملاحظة هذه الظاهرة عمليا إذا وضعنا قطعة من السكر فى كوب من الماء، فإننا نلاحظ أن قطعة السكر تبدأ فى التفتت تدريجيا وتتساقط منها قطع صغيرة من الفتات حتى تنهار تماما فى نهاية الأمر تحت طرقات جزيئات الماء التى تشبه طرقات المطارق والمعاول.

وعند ذوبان المادة فى الماء، تنتشر جزيئاتها انتشارا كاملا بين جزيئات الماء، وتصبح هذه الجزيئات غير مرئية تماما، ولهذا فإن مثل هذه المحاليل تبدو لنا شفافة تماما مثل الماء النقى.

ويعرف الناتج من ذوبان مذاب فى مذيب باسم المحلول، وتتنوع أصناف المحاليل، فهناك محاليل تنتج من ذوبان مادة صلبة فى سائل، ومن أمثلتها محاليل السكر أو الملح فى الماء، وهناك محاليل تنتج من ذوبان غاز فى سائل كما فى حالة المياه الغازية، ومنها محاليل يذوب فيها الماء فى غاز كما فى حالة بخار الماء الموجود بالهواء، أو محاليل يذوب فيها سائل فى سائل مثل محلول الكحول فى الماء، إلى غير ذلك من المحاليل.

وأهم ما تتصف به هذه المحاليل أن مكوناتها تمتزج معا بصورة كاملة دون أن يحدث بينها أى تفاعل أو تغير كيميائى، ويصبح من المستحيل التعرف على أى مكون من مكوناتها بطريقة بسيطة.

والمحاليل ذات أهمية خاصة لكل الكائنات الحية، فالهواء الذى نستنشقه ما هو إلا محلول من عدة غازات، أهمها الأكسجين والنتروجين وبخار الماء وقليل من ثانى أكسيد الكربون.

كذلك فإن ماء البحار ما هو إلا محلول من أنواع مختلفة من الأملاح فى الماء. وقد تصل نسبة الأملاح فى مياه بعض البحار والمحيطات إلى نحو ٤٪، أى ٤٠ جزءا فى الألف، وهى نسبة ثابتة إلى حد كبير، وتكفى لمنع تحول مياه البحار أو المحيطات إلى مياه آسنة.

وتؤدى حركة الرياح والأمواج إلى ذوبان قدر صغير من أكسچين الهواء فى مياه البحار، وهذا القدر الصغير يكفى لجعل هذه المياه صالحة لحياة الكائنات الحية البحرية.

ويعتمد النبات كذلك فى غذائه على مثل هذه المحاليل، فهو يمتص كثيرا من الأملاح وبعض المواد الأخرى من التربة على هيئة محاليل تمر من جذوره إلى سيقانه وأوراقه، كما أن المركبات العضوية التى يصنعها النبات فى أوراقه من ثانى أكسيد الكربون والماء فى عملية التخليق الضوئى، تنتقل بعد ذلك إلى الأجزاء الأخرى من جسم النبات على هيئة محاليل فى الماء.

وهذه المحاليل لها أهمية خاصة كذلك فى جسم الإنسان، فالطعام الذى نتناوله يتم هضمه بواسطة الأنزيمات فى وجود الماء، وينتقل هذا الغذاء عن طريق الدم الذى يتكون أساسا من الماء إلى جميع أجزاء الجسم.

وهناك نوع آخر من المحاليل لا تكون فيه المادة ذائبة تماما، ولكنها تكون معلقة فى الماء على هيئة جسيمات صغيرة الحجم يتكون كل منها من مجموعة من الجزيئات.

ومن أمثلة هذه المواد الصمغ والجيلاتين والغراء؛ ونظرا لأن هذه المواد تشبه الغراء فى خواصها، فقد أطلق عليها اسم المواد الغروانية «Colloidal Substances» وسميت محاليلها بالمحاليل الغروية أو المحاليل الغروانية.

ويقع حجم أغلب الجسيمات الغروانية بين ١ ميكرون، أى جزء من ألف جزء من المليمتر، وبين ١ مليميكرون، أى جزء من مليون جزء من المليمتر.



ورغم صغر حجم هذه الجسيمات إلا أنها تعتبر كبيرة جدا بالنسبة لحجم الجزيئات العادية، ولذلك فإن هذه الجسيمات الغروانية لا تمر فى خلال الأغشية شبه المنفذة مثلما تفعل المواد البلورية التى تذوب فى الماء.

ويمكننا تصور حجم الجزيئات إذا علمنا أن السنتيمتر المكعب الواحد من الهواء يحتوى على نحو ٣٠ مليون مليون مليون جزىء من جزيئات الأكسچين والنتروچين وغيرها.

وقد استطاع الكيميائى الإيطالى «الكونت أميديو أفوجادرو«Count Amedeo Avogadro» [١٧٧٦ - ١٨٥٦] أن يحسب عدد جزيئات الماء الموجودة فى الوزن الجزيئى للماء مقدرا بالجرامات، وهو ما يعرف «بالجرام جزىء »، ويبلغ ثمانية عشر جراما فى حالة الماء.

وقد وجد «أفوجادرو» أن عدد جزيئات الماء الموجودة فى ثمانية عشر جراما من الماء يصل إلى نحو ٦٠٢ ألف مليون مليون مليون من الجزيئات، ويعرف هذا الرقم الهائل حاليا باسم «عدد أفوجادرو»، ويمكن اختصاره إلى ٦,٠٢ × ١٠ ٢٣ .

ولا يختص هذا العدد بالماء فقط، ولكن نفس هذا العدد من الجزيئات يوجد دائما فى كل جرام جزىء من أى مادة، مهما كان نوعها، أى أننا إذا أخذنا وزنا من أى مادة يساوى وزنها الجزيئى، فإن هذا الوزن سيحتوى على نفس هذا العدد من جزيئات هذه المادة.

ويمكن استخدام «عدد أفوجادرو» فى حساب حجم جزيئات الماء، فإذا فرضنا أن جزيئات الماء تكون متلاصقة تماما ولا يفصل بينها أية مسافات بينية من أى نوع، فإنه بقسمة حجم الجرام جزىء من الماء، ويساوى ١٨ سنتيمترا مكعبا، على «عدد أفوجادرو» ينتج حجم جزىء الماء المفرد، ويساوى ٣ × ١٠ -٢٣ ، أى يساوى ثلاثة أجزاء من مائة ألف مليون مليون جزء من السنتيمتر المكعب.

ورغم أن هذا الرقم متناه فى الصغر، فإن جزيئات الماء المفردة أصغر من ذلك بكثير، لأننا أغفلنا المسافات البينية التى تفصل بين هذه الجزيئات ولم نأخذها فى الحسبان.

وبمقارنة حجم أصغر الجسيمات الغروانية الذى يبلغ جزءا من مليون جزء من المليمتر، أى ١× ١٠ -٧ من السنتيمتر، بحجم جزىء الماء الذى يصل إلى ٣ × ١٠ -٢٣ من السنتيمتر، يتضح لنا ضخامة حجم الجسيمات الغروانية بالنسبة لحجم الجزيئات.

ويطلق على هذه المحاليل الغروانية عدة أسماء، فمنها ما يسمى «الصول» «Sol»، ومنها «الچل» «Gel» ومنها المستحلبات.

«والصول» عبارة عن مادة صلبة منتشرة فى سائل، وقد يتكون كذلك نتيجة لانتشار غاز فى سائل، أو سائل فى سائل آخر.

أما «الچل» ويسمى أحيانا «الهلام» فتكون فيه الجسيمات الغروانية متفرعة ومتشابكة، وتحصر فيما بينها قطرات من السائل، ومن أمثلة ذلك الچيلاتين والفالوذج وما إليها.

أما المستحلب فهو عبارة عن سائل منتشر فى سائل آخر لا يذوب فيه، ويوجد السائل المنتشر فى هذه الحالة على هيئة قطرات متناهية فى الصغر معلقة فى السائل الثانى، ومثال ذلك مستحلب الزيت فى الماء.

وتوجد كل هذه المحاليل بأنواعها المختلفة فى الخلية الحية، فنجد فيها المحاليل الحقيقية، والصول والچل والمستحلبات، وتتم عن طريق هذه الأصناف مئات من التفاعلات الكيميائية الهامة، وتتكون بواسطتها أغلب المركبات العضوية المساندة للحياة، مثل جزيئات الكربوهدرات والدهون والبروتينات التى تبقى فى الماء الموجود بالخلية الحية على هيئة غروانيات.

وتتميز أغلب الجسيمات الغروانية بأنها تحمل على سطوحها شحنة كهربائية متجانسة، ولذلك تتنافر هذه الجسيمات بعضها مع بعض، وتبقى معلقة فى الماء.

كذلك تتميز هذه الجسيمات بقدرتها على الامتزاز، أى بقدرتها على امتصاص كثير من الجزيئات على سطوحها، وتساعد بذلك على حدوث كثير من التفاعلات الكيميائية فى الخلية الحية، ولو أن هذه الجسيمات الغروانية فقدت هذه الخواص وتجمعت فى كتلة واحدة، لماتت الخلية فى الحال.

ويعتبر تجلط الدم مثالا جيدا لتحول «الصول» إلى «چل»،فالجسيمات الغزوانية لنوع من البروتين المعروف باسم «الفبرينوچين» «Fibrinogen» تنتشر فى الدم على هيئة «صول» فى حالتها العادية، وعند حدوث جرح ما فى أحد الأوعية الدموية، تبدأ فى الحال ميكانيكية خاصة تحول هذا «الصول» إلى هلام أو «چل»، فيتجلط الدم ويسد مكان الجرح.

وتشبه العضلات «الچل» فى صفاتها، ويمكن مقارنتها بالچيلاتين، فعندما نرج الهلام الذى نأكله رجا شديدا، فإنه يفقد جزءا مما به من ماء، ويتقلص وينكمش فى قاع الإناء.

ولو أننا تركنا هذا الهلام ملامسا لما فقده من ماء مدة من الزمن فإنه سيمتص ما فقده من ماء مرة أخرى، ويتحول إلى «جل» مستعيدا شكله الأول تماما.

ويحدث نفس الشيء تقريبا في عضلاتنا، فنحن نحركها ونرجها باستمرار في أثناء قيامنا بمختلف الأعمال، وإذا كانت حركة هذه العضلات شديدة الإجهاد، فإنها تفقد أيضا جزءا مما بها من ماء، وتبدأ هذه العضلات في استعادة قوامها الأصلي إذا أرحناها بعد ذلك.

وتعزى ألوان بعض الأشياء إلى مثل هذه الخاصية الغروانية، فقزحية العين في الإنسان تتلون بألوان مختلفة نتيجة للطريقة التي تنتشر بها بعض محتوياتها من المواد الغداونية. كذلك تستطيع الحرباء أن تغير لون جلدها بتغيير درجة انتشار المواد الغروانية في هذا الجلد، ويفعل ذلك أيضا الإخطبوط عندما يغير لونه ليتناسب مع لون البيئة المحيطة به.

درجة غليان الماء:

عند رفع درجة حرارة سائل ما إلى حد معين، فإن هذا السائل يبدأ في الغليان ويتحول إلى بخار.

ويعني الغليان أن بعض فقاعات من البخار قد بدأت في التكون تحت سطح هذا السائل، وعادة ما تحتوي كل فقاعة من هذه الفقاعات على ملايين من جزيئات هذا البخار.

ولا تصل هذه الفقاعات في بادئ الأمر إلى سطح السائل،ولكنها تنهار وتختفي قبل أن تصعد إلى السطح؛لأن ضغط البخار في هذه الفقاعات يكون أقل من الضغط الجوي الواقع على سطح السائل.

وعندما يصل ضغط البخار في هذه الفقاعات إلى أعلى قيمة له، ويصبح مساويا للضغط الجوي، تبدأ هذه الفقاعات في الخروج من سطح السائل ويقال عندئذ أن السائل يغلي، ولهذا توصف درجة الغليان بأنها درجة الحرارة التي يصبح عندها ضغط بخار السائل مساويا للضغط الجوي.

وتختلف درجات غليان السوائل بعضها عن بعض، فلكل سائل درجة حرارة خاصة يغلي عندها، فالماء يغلي عند ١٠٠° س، ويغلي الكحول عند ٧٨,٥° س، كما يغلي الإثير عند ٣٤° س، بينما يغلي الزئبق عند ٣٥٦,٩° س.

وتتضح علاقة الضغط البخارى بدرجة الحرارة من الجدول التالى:

تغير الضغط البخارى للماء بتغير درجة الحرارة

درجة الحرارة °م	صفر	١٠	٢٠	٣٠	٥٠	٧٥	١٠٠
الضغط البخارى مم زئبق	٤,٦	٩,٢	١٧,٥	٣١,٨	٩٢,٥	٢٨٩,١	٧٦٠

ويتضح من هذا الجدول أن الضغط البخارى للماء يزيد بزيادة درجة الحرارة، وأن ضغط بخار الماء محدود جدا عند درجة الصفر المئوى وهى الدرجة التى يتحول فيها الماء إلى جليد. كذلك يتبين من هذا الجدول أن الضغط البخارى للماء يصل إلى ٧٦٠ مم زئبق، أى يصبح مساويا للضغط الجوى عند ١٠٠° م س، ولهذا يغلى الماء عند هذه الدرجة.

وتعتمد درجة الغليان كذلك على الضغط الجوى، فعندما يقل الضغط الواقع على سطح السائل تقل درجة غليانه بنسبة معينة، فالماء مثلا يغلى عند ١٠٠°م س عند مستوى سطح البحر حيث يكون الضغط الجوى مساويا «واحد جو»، ولكننا إذا ارتقينا أحد الجبال، فإننا نجد أن درجة غليان الماء تقل عن ذلك بسبب انخفاض الضغط الجوى بزيادة الارتفاع، ولا تزيد درجة غليان الماء على ٩٠°س فوق جبل ارتفاعه ثلاثة كيلو مترات.

ولهذا السبب نجد أن سكان المناطق الجبلية المرتفعة يجدون صعوبة في غَلْى الماء وطهو الطعام، وعليهم أن يستعملوا أوانى الضغط فى هذا الغرض.

والسبب فى اعتماد ضغط البخار على درجة الحرارة أن حركة الجزيئات تزداد بازدياد الحرارة، حتى تصل هذه الحركة إلى حد معين تبدأ عنده الجزيئات فى ترك سطح السائل وتتحول إلى بخار.

ومن الطبيعى أن ارتفاع الضغط فوق سطح السائل سيمنع مثل هذه الجزيئات من مغادرة سطح السائل، ولهذا يغلى السائل فى هذه الحالة فى درجة حرارة أعلى من درجة غليانه.



أما إذا كان الضغط الواقع على سطح السائل منخفضا، فإن جزيئاته تبدأ فى ترك السائل وتتحول إلى بخار فى درجة حرارة أقل من درجة غليانه المعتادة.

علاقة الضغط الجوى بدرجة غليان الماء

الضغط الجوى (جو)	أقل من ١ جو ٧٣٠ مم زئبق	١	٢	٦	١٠	٢٠
درجة غليان الماء °س	٩٩	١٠٠	١٢٠	١٥٨	١٧٩	٢١١

ويتضح من هذا الجـدول أن الماء يغلى عند ٩٩° س عندما يقـل الضغط الجوى عن ١ جو، ويغلى فى درجات حرارة أعلى من ١٠٠° س عند زيادة الضغط الواقع عليه كما فى غلايات القطارات البخارية المستعملة قديما.

وتستغل هذه الخاصية التى تقل فيها درجة الغليان بانخفاض الضغط فى كثير من الأغراض، فيتم تحلية مياه البحر بتقطيـرها تحت ضغط مخلخل كما سنرى فيما بعد، كما تسـتخدم فى بعض العمليـات الصناعية مثل عمـليات تركيز محالـيل السكر تحت ضغط منخفض حتى لا يتفحم السكر بالحرارة.

تبخر الماء:

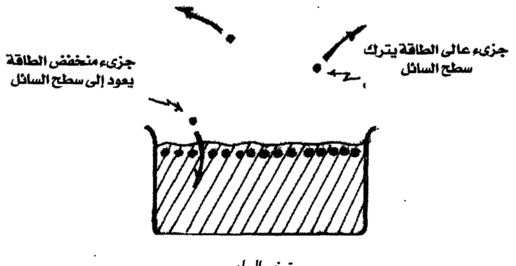
تزداد الطاقة الحركية للجزيئات كلـما ارتفعت درجة الحرارة، ولا تتساوى الطاقة الحركية لكل جزيئات السائل، فبعض هذه الجزيئات يكون عالى الطاقة ويتحرك بسرعة كبيرة، وبعضها الآخر تكون طاقته أقـل من متوسط طاقة باقى الجزيئات، ولذلك فهى تتحرك بسرعة أقل من متوسط سرعة كل الجزيئات.

ويحدث هـذا الاختلاف فى سـرعة الجزيئـات فى كل درجات الحـرارة، ولهذا يحدث تبخـر للسوائل فى كل درجات الحرارة، فـبعض الجزيئات عاليـة الطاقة والتى تتحرك بسرعـة كبيرة قد تستطيع مـغادرة سطح السائل أو الماء وتتحـول إلى بخار، أما الجزيئات منخفضة الطاقة فلا تستطيع أن تغادر سطح السائل وتتغلب عليها قوة الجذب الواقعة بينها وبين بقية الجزيئات (شكل ٦).

ونظرا لأن الجـزيئات عالـية الطاقة هـى التى تغادر سطـح السائل وتتـحول إلى بخار، فإن أغلب الجزيئـات التى ستتبقى فى السائل ستكون طاقتـها منخفضة، ولذلك يؤدى هذا التبخر إلى خفض درجة حرارة السائل أو المحلول.

وقد استخدم هذا المبدأ منذ زمن فى تبريد مياه الشرب وذلك بوضعها فى أوانى من الفخار وتركها فى الهواء.

كذلك يساعد تبخر الماء من الجلد على تبريد جسم الإنسان، ولذلك نعرق عند ارتفاع درجة الحـرارة لتبريد الجسم، ولكن هذا التـبخر يقف تقريبا عنـدما يكون الجو رطبا لأن عدد الجزيئات التى تتبخر إلى الهواء يقل كثيرا، وهذا هو السبب فى أننا نشعر بالحرارة فى الجو الرطب.



تبخر الماء
الجزيئات عالية الطاقة تستطيع مغادرة سطح الماء وتتحول
إلى بخار، بينما تعود الجزيئات منخفضة الطاقة إلى السائل
(شكل ٦)

درجة الحرارة الحرجة للماء:

نظرا لأن درجة غليان الـماء ترتفع بازدياد الضغط الواقع على سـطحه، فإنه من المتوقع عنـدما يصل هذا الضغط إلى حد مـعين، أن تعجز جزيئات الـماء عن مغادرة السائل والتحول إلى بخار، أى أن الماء لن يغلى أبدا تحت هذه الظروف.

كذلك نتوقع أنه عندمـا تكون درجة حرارة البخار مرتفعة جـدا، فإن هذا البخار لن يتحول إلى سائل مهما كان الضغط الواقع عليه؛ لأن جزيئات الماء التى توجد على هيئة بخار عند هذه الدرجة المرتفعة ستكون سريعة الحركة جدا وستقاوم الانضغاط.

ويمكننا تصور هذه الحالة إذا افترضنا أننا وضعنا مقدارا من الماء فى إناء من الصلب يستطيع أن يتحمل ضغوطا عالية، فإننا عندما نرفع درجة حرارة هذا الماء، يتحول جزء منه إلى بخار ويزداد الضغط فى داخل هذا الإناء المقفل.

وباستمرار رفع درجة حرارة هذا الماء، سيزداد عدد جزيئات الماء التى تترك سطح السائل وتتحول إلى بخار، ولكن نظرا لأن هذه الجزيئات تقع داخل هذا الحيز المقفل، فإنها لن تملك قدرا كافيا من حرية الحركة، وبذلك ستقترب هذه الجزيئات بعضها من بعض وتزداد ازدحاما.

وستزداد حالة التزاحم بين جزيئات البخار كلما رفعنا درجة الحرارة حتى نصل إلى درجة ٣٧٤ مئوية، وعندها تصبح المسافات التى تفصل بين جزيئات البخار هى نفس المسافات التى تفصل بين جزيئات السائل، ولذلك يختفى السطح الفاصل بين كل من السائل والبخار ولا يمكن التمييز بينهما.

وتسمى درجة الحرارة التى تحدث عندها هذه الحالة بدرجة الحرارة الحرجة، وهى كما رأينا ٣٧٤° س بالنسبة للماء.

ويمكن تصور درجة الحرارة الحرجة بصورة أوضح، إذا افترضنا أننا سَخَّنا بخار الماء إلى درجة ٣٧٤° س، ثم حاولنا أن نضغط على هذا البخار لتحويله إلى سائل، فإننا سنجد أن هذا أمر مستحيل مهما كان الضغط الواقع على هذا البخار.

ويمكن بذلك تعريف درجة الحرارة الحرجة بأنها درجة الحرارة التى لا يمكن عندها أو فوقها أن يتحول البخار إلى سائل مهما كان الضغط الواقع على هذا البخار.

وتنطبق هذه القاعدة على كثير من السوائل والغازات، فدرجة الحرارة الحرجة للنشادر ١٣٢,٤° س، ولثانى أكسيد الكربون ٣١,١° س، وللأكسچين ١١٨,٨° س، وللنتروچين ١٤٧,١° س.

درجة تجمد الماء:

يطلق على درجة الحرارة التى تتحول فيها مادة سائلة إلى مادة صلبة «درجة التجمد»، ويطلق على درجة الحرارة التى تتحول فيها مادة صلبة إلى مادة سائلة «درجة الانصهار».

وتعتبر كلٌّ من درجة التجمد ودرجة الانصهار شيئا واحدا بالنسبة للمواد المتبلورة، ولكنهما يختلفان قليلا فى بعض الحالات التى تكون فيها المادة الصلبة غير متبلورة كما فى حالة الزجاج أو الدهون.

وتختلف درجة التجمد أو درجة الانصهار من مادة إلى أخرى، فهى للماء صفر مئوى، وللحديد ١٥٣٥ °س، وللتنجستن ٣٣٧٠ °س، وللزئبق - ٣٨,٨٧ °س تحت الصفر.

وتحتاج أى مادة إلى امتصاص قدر معين من الحرارة، يعبر عنه عادة بالسعرات، حتى تتحول من حالتها الصلبة إلى حالتها السائلة.

ويعرف هذا القدر من الحرارة اللازم لتحويل جرام واحد من المادة الصلبة إلى سائل، دون أن تتغير درجة حرارة المادة باسم «الحرارة الكامنة للانصهار» «Latent Heat of pusion»، وهى بالنسبة للماء تساوى ٧٩,٧١ من السعرات.

ويعنى هذا أن جراما واحدا من الثلج وهو فى درجة الصفر المئوى، يحتاج إلى امتصاص ٧٩,٧١ من السعرات، ليتحول إلى ماء فى درجة الصفر أيضا، فهذا القدر من الحرارة الذى تمتصه المادة لا يؤدى إلى رفع درجة حرارتها، ولكنه يبقى كامنا فيها، ولهذا تعرف هذه الحرارة بالحرارة الكامنة.

ولكل مادة حرارة كامنة تمتصها عند انصهارها، فالحرارة الكامنة لانصهار الألومنيوم مثلا تساوى ٩٤ سعرا، وللنحاس ٤٩ سعرا، على حين أنها للرصاص ٥,٤٧ من السعرات فقط.

وتحتاج المادة كذلك إلى امتصاص قدر آخر من الحرارة كى تتحول من حالتها السائلة إلى بخار.

ويطلق كذلك على هذا القدر من الحرارة الذى يلزم لتحويل جرام واحد من المادة إلى بخار، دون تغير درجة الحرارة، «بالحرارة الكامنة للتصعيد» «Latent Heat of Vapourization» وهى بالنسبة للماء ٥٣٩,٦ من السعرات لكل جرام عند درجة الغليان، بينما يحتاج الكحول إلى ٢٠٤ سعرا فقط كى يتحول إلى بخار.

كثافة الماء:

يعبر عن الكثافة عادة بكمية المادة التى تشغل حجما مقداره سنتيمترا مكعبا واحدا.

ولكل مادة كثافتها الخاصة بها، فتبلغ كثافة الماء جراما واحدا للسنتيمتر المكعب عند ٤ °س، بينما تبلغ كثافة الكحول ٨,٠ من الجرامات لكل سنتيمتر مكعب، وكثافة الزئبق ١٣,٦ من الجرامات لكل سنتيمتر مكعب.

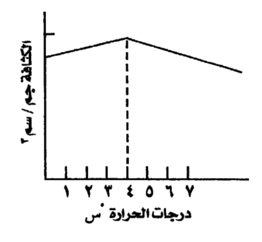


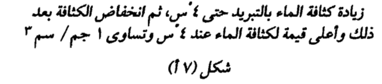
والوزن النوعى لمادة ما هو النسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء، وحيث إن كثافة الماء = ١، أى واحد جرام لكل سنتيمتر مكعب، فإن الوزن النوعى لكل من المواد يصبح مساويا لكثافتها، ومثال ذلك الزئبق فكثافته ٦ ,١٣ ووزنه النوعى كذلك ١٣,٦.

وتعتمد كثافة أغلب المواد على درجة الحرارة، فرفع درجة حرارة المادة يؤدى إلى تمددها فيزيد حجمها وتقل كثافتها. كذلك يؤدى خفض درجة حرارة المادة إلى انكماشها، فيقل حجمها وتزداد كثافتها.

وتنطبق هذه القاعدة على جميع المواد، ولكنها تختلف عن ذلك قليلا فى حالة الماء، فعند تبريد الماء نجد أن كثافته تزداد تدريجيا مثل بقية المواد، وتستمر هذه الزيادة فى كثافة الماء حتى تصل درجة الحرارة إلى ٤°س، وعند هذه الدرجة تكون كثافة الماء أعلى ما يمكن، ثم تقل كثافة الماء بعد ذلك بزيادة التبريد حتى نصل إلى درجة الصفر المئوى، وهى درجة تجمد الماء وتحوله إلى ثلج.

ويمكن تفسير هذه الظاهرة إذا افترضنا أن الماء عند درجة الصفر يكون فى حالة تجمع كما سبق أن بينا، ويؤدى هذا التجمع إلى أن تصبح أغلب الجزيئات مقيدة بأوضاع خاصة ولا تملك قدرا كافيا من حرية الحركة.



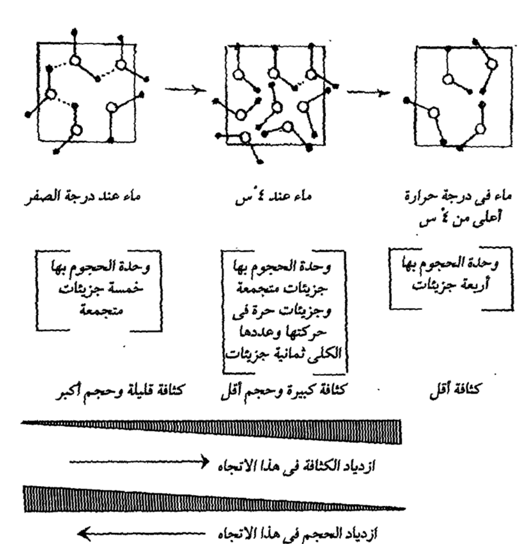

زيادة كثافة الماء بالتبريد حتى ٤°س، ثم انخفاض الكثافة بعد ذلك وأعلى قيمة لكثافة الماء عند ٤°س وتساوى ١ جم/ سم٣

شكل (٧ أ)



وعند رفع درجة حرارة هذا الماء من درجة الصفر إلى ٤ْس تتفكك بعض الروابط الهدروچينية المسببة لهذا التجمع، وتبدأ بعض جزيئات الماء فى الحركة بحرية أكثر، فيحدث بينها نوع من التقارب ويزداد ترتيبها مما يؤدى إلى زيادة عدد هذه الجزيئات فى وحدة الحجوم، أى يزيد عدد هذه الجزيئات فى كل سنتيمتر مكعب من الماء وترتفع بذلك كثافة الماء.

وعن رفع درجة حرارة الماء فوق ٤ ْس، يزداد الاهتزاز الحرارى للجزيئات، وتبدأ فى الابتعاد بعضها عن بعض، وتنخفض كثافة الماء نتيجة لذلك مثلها فى ذلك مثل بقية المواد (شكل ٧ أ، شكل ٧ ب).



شكل (٧ ب)



وتبين لنا الأشكال السابقة تصورا لما يمكن أن يحدث لجزيئات الماء عند رفع درجة الحرارة من الصفر إلى ٤ْ س أو أكثر من ذلك، كما أنها تبين لنا أن هذه الخاصية الشاذة والتى ينفرد بها الماء عن غيره من المواد، تعود إلى الخاصية القطبية لجزيئات الماء التى تؤدى إلى ظاهرة التجمع.

ويتضح كذلك من الأشكال السابقة أن حجم الماء يزداد عند تبريده من ٤ْ س إلى درجة الصفر ، ويعنى هذا أن حجم الثلج يكون أكبر من حجم الماء، وهذا صحيح فإن المتر المكعب من الماء عندما يتحول إلى ثلج يصير حجمه ١,٠٨ متر مكعب.

وتؤدى ظاهرة الزيادة فى حجم الماء عند تحوله إلى ثلج إلى حدوث بعض الأضرار فى الأجواء الباردة؛ منها على سبيل المثال انفجار أنابيب المياه فى بعض المدن فى الشتاء القارص، وانفجار مبردات السيارات نتيجة لزيادة ضغط الثلج، المتكون بها ليلا فى البلاد الباردة، على مجاريها الدقيقة.

وعادة ما يضاف إلى الماء فى مبردات السيارات، بعض المواد التى تؤدى إلى خفض درجة تجمد الماء، أى تحول دون تجمد الماء عند درجة الصفر ، ومن أمثلة هذه المواد الجليسرين أو جليكول الإثيلين، وهى مواد تذوب فى الماء بجميع النسب.

كذلك قد يتسبب تجمد بعض المجارى المائية فى الشتاء تجمدا تاما فى موت كثير من الكائنات الحية التى تعيش فى هذه المياه، وبخاصة الأسماك.

ومن حسن الحظ أن هذا لا يحدث إلا نادرا، فزيادة حجم الثلج عن حجم الماء تجعله أقل كثافة وتجعل هذا الثلج يطفو فوق سطح الماء، فيكون بذلك طبقة عازلة تفصل المياه العميقة عن الجو البارد، تمنع تجمد الطبقات السفلى من الماء مما يسمح للكائنات الحية أن تحيا وتنمو بهذه المياه تحت هذه الظروف، ويحدث هذا عادة فى مياه البحار فى المناطق الشمالية الباردة.

الحرارة النوعية للماء:

تختلف قدرة المواد على امتصاص الحرارة باختلاف أنواع هذه المواد.

فلو أن لدينا أوزانا متكافئة من مواد مختلفة، مثل الماء، والحديد، والزئبق عند درجة حرارة الغرفة، ثم عرضناها كلها لمصدر حرارى واحد، فإن كلا منها سيمتص قدرا من الحرارة يختلف تماما عن كميات الحرارة التى ستمتصها المواد الأخرى.

ويعبر عادة عن الحرارة التى تمتصها المادة باسم «الحرارة النوعية»، وهى تقدر بعدد السعرات التى تلزم لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة مئوية واحدة.

والحرارة النوعية للماء أعلى من الحرارة النـوعية لجميع المواد الأخرى، ولهذا تعتبرالحرارة النوعية للماء مساوية للوحدة، أى تساوى ١، وتنسب إليها الحرارة النوعية للمواد الأخرى، فيقال أن الحرارة النوعية للحديد تساوى ١١ , ٠، أى أنها تساوى عشر الحرارة النوعية للماء تقريبا، والحرارة النوعية للزئبق ٠٣٣ , ٠ وهكذا.

والسبب فى ارتفاع الحرارة النوعية للمـاء عن الحرارة النوعية لغيرها من المواد، أن جزءا من الحـرارة التى يمتصهـا الماء يستغل فـى تفكيك الروابط الهدروچيـنية التى تربط بـين الجزيئـات، أى أن جزءا من هذه الـحرارة يستـخدم فى تحـويل الجزيـئات المتجمعة إلى جـزيئات مفردة حرة الحركة، ولهذا نجد أن قدرا كـبيرا من الحرارة يلزم لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء.

ويساعد ارتفـاع الحرارة النوعية للماء عـلى امتصاص قدر كبيـر من الحرارة من الوسط المحـيط بهذا الماء، ويتـضح ذلك بجلاء فى المنـاطق المجاورة للمـسطحات المائيـة الكبيرة مـثل البحار والمـحيطات، فإن درجـة حرارة هذه المناطـق تكون عادة منتظمة ولا تتغير فيها درجة الحرارة بشكل كبير.

وتسـتغل ظاهـرة ارتفاع الحـرارة النوعيـة للمـاء فى بعض الأغـراض الأخرى، فيستعمل الماء فى تبريد كثيـر من الآلات، مثل محركات السيارات، لأن الماء يستطيع أن يمتص قدرا كبيرا من حرارة المحرك دون أن ترتفع درجة حرارة الماء بشكل كبير.

كذلك يستعمل الماء فى عمليات التسخـين أو التدفئة التى تستخدم فيها مبادلات حرارية تعمل بالماء، فالماء يستطيع أن يخـتزن قدرا كبيرا من حرارة فرن التسخين دون أن ترتفع درجـة حرارته كثيـرا، ثم يعطى هذه الحـرارة بعد ذلك إلى حجـرات المنزل المراد تدفئته عند مروره فى الأنابيب الموجودة بجدران هذه الغرف أو أرضياتها.

ثبات جزيئات الماء:

الماء مـادة على درجة عـالية من الثـبات، وذلك نتـيجة لمـتانة وثبـات الروابط الكيميائية التى تربط بين ذرتى الهدروچين وذرة الأكسچين فى جزىء الماء.

وينتج عن هـذا الثبات أن تصبح جـزيئات الماء غـير متأينة فى درجـات الحرارة العادية. وعلى الرغم من ذلك فهناك نسبة ضئيلة جدا من جزيئات الماء، تتفكك لتعطى أيونات.

ويحدث هذا التفكك بانفصال ذرة هـدروچين من جزىء الماء وتتحول إلى أيون هدروچيـن يحمل شـحنة موجـبة [H^+] تاركـة زوج الإلكترونـات المكون للـرباط

الكيميـائى، إلى ذرة الأكسچين، وبذلك تحـمل ذرة الأكسچين ومعهـا ذرة الهدروچين الأخرى شحنة سالبة، وتعرف عندئذ باسم أيون الهدروكسيد [HO^-].

$$H-O-H \rightleftharpoons \overset{\oplus}{H} + OH^{\ominus}$$

أيون هدروكسيد   أيون هدروچين   جزىء ماء

وأيون الهدروچين أيون صغير الحجم، ولذلك لا يبقى وحده بل يتحد مع جزىء غير مـتأين من جزيئـات الماء، ويكون مـعه وحدة جديدة تتـكون من ثلاث ذرات من الهدروچيـن وذرة واحدة من الأكسچـين، وتحمل هذه المـجموعة من الـذرات شحنة موجبة وتعرف باسم «أيون الهدرونيوم» «Hydroniumion».

$$\overset{\oplus}{H} + H_2O \rightleftharpoons [H_3O]^{\oplus}$$

أيون هدرونيوم   جزىء ماء   أيون هدروچين

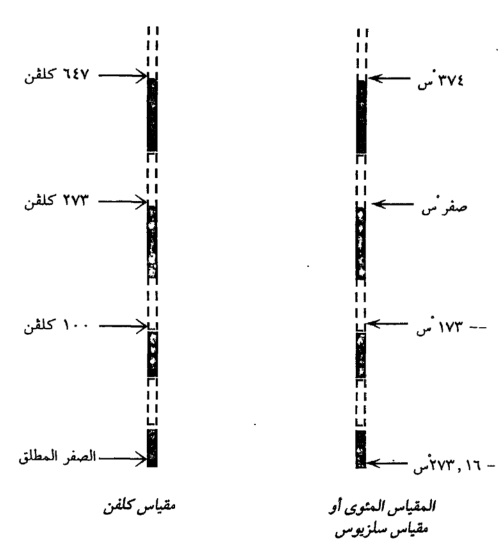
وتبلغ نسـبة هذه الأيونات فى درجـات الحرارة العادية حـدا ضئيلا جـدا، فعند درجة حرارة ٢٥ °س، يكون هناك جزىء واحد متأين بين كل ٥٥ × ١٠^٧ من جزيئات الماء، أى أن هناك جزيئا واحد متأينا بين كل ٥٥٠ مليون جزىء من جزيئات الماء فى كوب الماء الموضوع أمامك فى الغرفة.

وعند درجـات الحرارة المنـخفضـة جدا، أو عند درجـة -٢٧٣,١٦ °س تحت الصفر، وهى درجة الحرارة المعروفة باسم «الصـفر المطلق»، والتى تمتنع عندها نظريا حركة جمـيع الجزيئات، تكون جزيئات الـماء مرتبة بنظام تام داخل شـبكة بلورة الثلج ولا تتحرك تقريبا.

ويعرف مـقياس الحرارة الذى يبـدأ بهذا الصفر الـمطلق باسم « مقيـاس كلفن» ويساوى فيه الصفر المئوى ٢٧٣ كلفن (شكل ٨).

وإذا رفعنا درجة حرارة الثلج إلـى ١٠٠ كلفن، أى إلى -١٧٣ °س تحت الصفر المئوى، فإننا نجد أن جزيئات الماء تبدأ فى التذبذب حول مواضع ثابتة فى داخل بلورة الثلج ببطء شديد، ولكنها لا يبتعد بعضها عن بعض.

أما إذا رفعنا درجة الحرارة إلى ٢٧٣ كلفن، أى إلى الصفر المئوى، فإن جزيئات الماء تصبح أكثر حرية فى حركتها عمـا سبق، وقد تكون هذه الجزيئات على هيئة ثلج أو على هيئة سائل تبعا للضغط الجوى الواقع على هذه الجزيئات.



(شكل ٨)

وعندما تصل درجة الحرارة إلى ٦٤٧ كلفن، أى إلى ٣٧٤ ْس تصبح جزيئات الماء فى الحالة البخارية، وتبقى كذلك مهما كان الضغط الواقع عليها، فهذه الدرجة هى درجة الحرارة الحرجة للماء.

وعند ٢٠٠٠ ْس، يزداد اهتزاز جزيئات بخار الماء وتذبذبها إلى حد كبير، حتى أن بعض هذه الجزيئات يبدأ فى التفكك إلى ذرات حرة من كل من الهدروچين والأكسچين.

وتصل نسبة هذه الجزيئات المتفككة عند هذه الدرجة إلى نحو ٢٪ ويصبح بخار الماء فى هذه الحالة عاملا مؤكسدا لاحتوائه على نسبة لا بأس بها من ذرات الأكسجين الحرة، ولهـذا نجد أن بعض الفـلزات مثل الحديـد والمغنسيـوم والألومنيوم، تشـتعل بسهولة فى بخار الماء المسخن إلى درجة ٢٠٠٠° مئوية.

بعض تفاعلات الماء:

يعمل المـاء عادة كوسط لكثيـر من التفاعلات الكيـميائية، بمعـنى أن مثل هذه التـفاعلات لا تـحدث إلا فى وجـوده، ولكن جزيـئات المـاء لا تكون طرفـا فى هذه التفاعلات.

وعلى الرغم من الثبات الكبير لجزيئات الماء فى درجات الحرارة العادية، إلا أنه فى بعض الأحيان تدخل هذه الجزيئات فى بعض التفاعلات الكيميائية.

ويتفاعل الماء مع بعض الفلزات فى درجة الحرارة العادية ولا يتفاعل مع بعضها الآخر، فـالذهب والبـلاتين مـثلا لا يتـفاعـلان مع المـاء تحت هذه الظـروف ولكن الصوديوم والبـوتاسيوم يتفـاعلان بشدة مع المـاء قد تصل إلى حد الانفـجار فى درجة حرارة الغرفة.

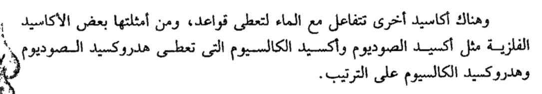
وقد تعمل جزيئات الـماء كعامل مساعد فى بعض التفاعـلات، فالحديد مثلا لا يصدأ، أى لا يتفـاعل مع أكسچين الهواء إلا فى وجود بـعض الرطوبة، أى فى وجود الماء.

وهناك تفاعلات أخرى تدخل فيها جزيئـات الماء لتعطى نواتج متباينة الخواص، فعندمـا يذوب غاز ثانى أكسـيد الكربون فى المـاء يعطى حمضـا ضعيفا يـعرف باسم حمض الكربونيك.

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

ثانى أكسيد الكربون   الماء   حمض الكربونيك

وتتفاعل كذلك بعـض الأكاسيد الأخرى مثل أكاسيد النتـروچين أو ثالث أكسيد الكبريت مع المـاء لتعطى أحماضا قويـة هى حمض النتريك وحمض الكبـريتيك على الترتيب.



وهناك أكاسيد أخرى تتفاعل مع الماء لتعطى قواعد، ومن أمثلتها بعض الأكاسيد الفلزيـة مثل أكسيـد الصوديوم وأكسـيد الكالسـيوم التى تعطـى هدروكسيد الـصوديوم وهدروكسيد الكالسيوم على الترتيب.

وهذه الأحماض والقـواعد مواد هامة ولها اسـتخدامات كثيرة فـى الصناعة وفى كثير من أغراض حياتنا اليومية، فالجير المطفأ مثلا ما هو إلا هدروكسيد الكالسيوم.

وللماء كذلك أثر متغير على كثير من المركبات، فهناك مواد تذوب فى الماء دون أن تتغير صـفاتها مثل ملح الطعـام المعروف باسم كلوريد الصـوديوم أو سكر القصب الذى يسمى كذلك بالسكروز.

وهناك مواد أخـرى تكون متعـادلة فى صورتهـا الجافة، ولكنـها تعطى محـاليل حمضية أو قلوية عند ذوبانها فى الماء.

وتحدث هذه الـظاهرة عادة للأملاح التـى تتكون من شقيـن غير متسـاويين فى القوة، فعند إذابة ملح مثل كلوريد الأمونيوم فى الماء يتأين هذا الملح إلى أيون الكلور السالب وإلـى أيون الأمونيوم المـوجب، وعندما تتـحد هذه الأيونات مع المـاء يتكون لدينا حـمض الهدروكلـوريك وهو حمض قـوى، وهدروكسيـد الأمونيوم وهى قـاعدة ضعيفة، ولذلك يكون محلول هذا الملح فى الماء حمضى التأثير.

$$NH_4CL \rightleftharpoons NH_4^{\oplus} + CL^{\ominus}$$

كلوريد الأمونيوم   أيون الأمونيوم   أيون الكلور

$$H2O \rightleftharpoons OH^{\ominus} + H^{\ominus}$$

$$\Updownarrow \qquad \Updownarrow$$

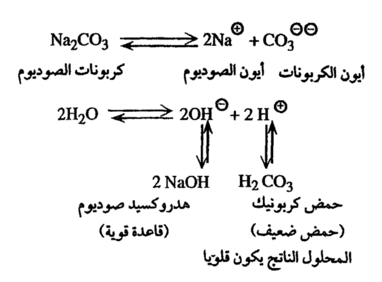
$$NH_4OH \qquad Hcl$$

هدروكسيد أمونيوم (قاعدة ضعيفة)   حمض هدروكلوريك (حمض قوى)

المحلول الناتج يكون حمضيا

وعندما تذوب الأملاح الأخرى التى تكون من شق حمضى ضعيف وشق قاعدى قوى، مثـل ملح كربونات الصـوديوم، فإنها تتـأين وتتفاعـل مع الماء لتعـطى حمض الكربونيـك وهو حمض ضعيـف، وهدروكسيد الـصوديوم وهى قاعدة قـوية، ولذلك تكون محاليل هذه الأملاح قلوية التأثير.





وقد ترتبط جزيئات الماء فى بعض الأحيان مع جزيئات بعض المواد الكيميائية، وتتكون بذلك جزيئات جديدة يدخل الماء فى تركيبها، وتعرف باسم «الهدرات» «Hydrates».

ومن أمثلة هذه الهدرات كبريتات النحاس، فهى تتبلور من محاليلها المائية على هيئة بلورات زرقاء اللون تحتوى على خمسة جزيئات من الماء فى تركيبها ويرمز لها بالرمز [$CuSO_4 . 5 H_2O$].

وتعرف جزيئات الماء التى توجد فى مثل هذه البلورات باسم «ماء التبلور» «Water of Crystallization»، وهذا الماء ليس ثابتا، فكثير من هذه البلورات تفقد ماء التبلور عند تسخينها، فبلورات كبريتات النحاس المائية الزرقاء، تفقد ماء تبلورها عند تسخينها وتتحول إلى مسحوق لا لون له وتعرف عندئذ باسم كبريتات النحاس اللامائية.

خاصية الطفو للماء

هناك أجسام تطفو على سطح الماء، وهناك أجسام أخرى تغوص فيه.

كذلك فإن بعض الأجسام التى تطفو على سطح الماء قد تغوص فى الكحول أو فى الإثير، وأن بعض الأجسام التى تغوص فى الماء قد تطفو على سطح الجليسرين.

وتعتمد خاصية الطفو على أن لكل سائل قوة دفع خاصة به، تدفع الأجسام من أسفل إلى أعلى.

وقد قام الرياضى الإغريقى «أرشميدس» فى القرن الثالث قبل الميلاد بوضع القاعدة التى تتحكم فى هذه الظاهرة، وأطلق عليها بعد ذلك اسم «قاعدة أرشميدس».

وتنص هذه القاعدة على أن أى جسم موضوع فى سائل مثل الماء يدفع إلى أعلى بقوة تساوى وزن السائل المزاح بواسطة الجسم، ولذلك نجد أن أى جسم يوضع فى سائل، يغوص فى هذا السائل إلى عمق معين حتى يبلغ وزن السائل المزاح نفس وزن هذا الجسم.

ويترتب على ذلك أن أى جسم يزيد وزنه على وزن السائل المساوى له فى الحجم، وهو السائل المزاح، لابد وأن يغوص فى هذا السائل.

وتنطبق هذه القاعدة على السفن التى تمخر عباب البحار، فلو أننا فرضنا أن لدينا سفينة تزن ٥٠٠٠ طن، فإنها سوف تغوص فى الماء حتى يبلغ وزن الماء الذى يزيحه جسمها نفس وزنها، أى حتى يبلغ وزن الماء المزاح ٥٠٠٠ طن.

وتلعب الكثافة هنا دورا هاما، فالسفن تطفو على سطح الماء رغم أنها مصنوعة من الصلب الذى يغوص فى الماء، وذلك لأنها تحتوى فى هيكلها على كثير من الفراغات التى تمتلئ بالهواء، فتصبح كثافتها بذلك أقل من كثافة الصلب المصمت أى المصنوع على هيئة كتلة مصمتة.

ولنفس هذا السبب يطفو الزيت والكيروسين والإثير فوق سطح الماء؛ لأنها أقل كثافة من الماء، وتطفو على سطح الماء كذلك ألواح الخشب لاحتوائها على كثير من الفراغات والمسام مما يقلل من كثافتها، كما أن القشدة تطفو على سطح اللبن لنفس هذا السبب.

وتعتبر مياه البحار أكثر كثافة من المياه العذبة، وذلك لاحتواء مياه البحار على نسبة من الأملاح الذائبة فيها، ولذلك نجد أن كثافتها تبلغ فى المتوسط ١,٠٣، وعندما تنتقل إحدى السفن من مياه البحر إلى مياه أحد الأنهار، نجد أنها تغوص قليلا فى مياه هذا النهر، ويمكننا أن نشعر بذلك عندما نسبح فى مياه البحر، فإننا نجد أن ذلك أيسر من السباحة فى مياه النهر أو فى حمامات السباحة لاختلاف كثافة المياه فى الحالتين.

كذلك نلاحظ أن البيضة تغوص فى الماء العذب أو فى ماء الصنبور، ولكنها تطفو فوق سطح الماء إذا أذبنا فيه قليلا من الملح.

ويستخدم هذا المبدأ فى بناء الغواصات، فيراعى أن يكون وزن الغواصة أقل قليلا من وزن نفس الحجم من ماء المحيط. وتستطيع الغواصة أن تغوص فى الماء عند ملء خزاناتها بالماء، فيصبح وزنها الكلى أعلى من وزن نفس حجمها من ماء المحيط، وتستطيع أن تصعد إلى سطح الماء إذا ملئت خزاناتها بالهواء حيث يصبح وزنها أقل من وزن نفس حجمها من الماء.

قانون بسكال:

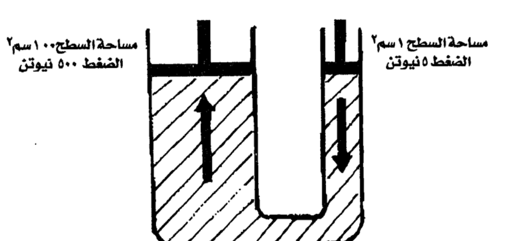
وضع هذا القانون العالم الفرنسى «بليز بسكال» «Blaise Pascal» بعد أن تبين له أن أى ضغط يقع على أى جزء من السائل الموضوع فى إناء مقفل، ينتقل بنفس المقدار إلى كل أجزاء السائل الأخرى وفى جميع الاتجاهات.

ويستفاد حاليا من هذه الظاهرة فى كثير من الأغراض، فيستغل هذا القانون مثلا فى محطات تشحيم السيارات؛ وذلك لأن الضغط الواقع على سطح سائل مثل الماء أو الزيت يزداد كثيرا عند الطرف الثانى للسائل، ويعتمد ذلك على مساحة مقطع هذا الطرف.

فإذا افترضنا وضع سائل مثل الماء فى أنبوبة ذات فرعين، وكانت مساحة سطح السائل فى الفرع الأول سنتيمترا مربعا واحدا، ومساحة سطح السائل فى الفرع الثانى ١٠٠ سنتيمتر مربع، فإننا إذا ضغطنا على سطح السائل فى الفرع الأول بقوة مقدارها ٥ نيوتن [النيوتن وحدة من وحدات القوة فى النظام المترى الدولى] سنجد أن هذا الضغط قد تحول عند سطح السائل فى الفرع الثانى إلى ٥٠٠ نيوتن، وهو حاصل ضرب قوة الضغط فى مساحة السائل [٥ × ١٠٠ = ٥٠٠ نيوتن] (شكل ٩).

ويستفاد من هذه الظاهرة أيضا فى رفع المياه فى المدن؛ وذلك لأن الضغط فى محطة المياه ينتشر فى كل أنابيب المياه التى تتوزع فى كافة أرجاء المدينة.

كذلك يستعمل قانون بسكال فى الضغط على فرامل السيارات، فأى ضغطة هينة بالقدم على فرملة السيارة ينقل هذه الضغطة بقوة مضاعفة إلى عجلات السيارة.



اعتماد الضغط عند السطح على مساحة سطح السائل
(شكل ٩)



الباب الثانى

أنواع المياه الطبيعية

الفصل الرابع

مياه الأمطار

الفصل الخامس

مياه الأنهار

الفصل السادس

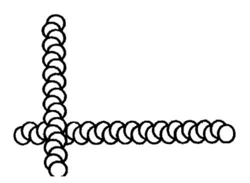
مياه المحيطات

الفصل السابع

الثلاجات

الفصل الثامن

المياه الجوفية





الفصل الرابع

مياه الأمطار

تعتبر مياه الأمطار من أنقى صور المياه الطبيعية، ولكن ذلك ليس حقيقيا دائما، فمياه الأمطار غالبا ما تذيب بعض الغازات والأبخرة، وبعض الشوائب المعلقة فى الهواء، فى أثناء نزولها إلى سطح الأرض.

وتنشأ مياه الأمطار نتيجة لعمليات التبخر التى تتعرض لها مساحات المياه المكشوفة فى البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات.

وعندما يتعرض سطح الماء فى مثل هذه المسطحات المائية لأشعة الشمس، يتبخر منها قدر كبير من الماء ويتحول إلى بخار يتصاعد إلى الجو ويتحول إلى سحب وغيوم فى طبقات الجو العليا الباردة.

ويساهم فى هذه العملية جزء من بخار الماء المتصاعد من فوهة بعض البراكين، والذى يبلغ مئات من الأطنان فى بعض الحالات، كما تساهم فى ذلك أوراق الأشجار والنباتات التى تخرج قدرا لا بأس به من بخار الماء إلى الهواء فى أثناء العملية المعروفة باسم النتح.

ويستطيع الغلاف الجوى أن يحمل فى ثناياه قدرا محسوسا من بخار الماء، ويعتمد هذا القدر على درجة حرارة الجو، فكلما زادت درجة حرارة الهواء، زادت قدرته على حمل بخار الماء، ولكن هذه الزيادة لا تستمر إلى الأبد، فهناك درجة محددة لا يستطيع الهواء بعدها أن يتقبل مزيدا من بخار الماء، ويقال عندئذ أن الهواء قد صار مشبعا ببخار الماء.

وعندما تنخفض درجة حرارة الهواء الدافئ المحمل ببخار الماء يبدأ ما به من بخار فى التكثف، ويتحول إلى قطرات دقيقة من الماء تتجمع حول ذرات الغبار المنتشرة فى الهواء، أو حول بعض بلورات الملح التى يحملها الهواء، أو حول بعض الأيونات التى تحمل شحنة كهربائية.

وتظهر هـذه القطرات على عدة صـور، فهى قد تظهر عـلى هيئة ضبـاب يغطى سطح الأرض، أو تظهر على هيئة سحب بيضاء فى طبقات الجو العليا.

وعندمـا تكون درجة حـرارة الجو أقل من درجـة التجـمد، أى أقل من الصـفر المئوى، فإن بخار الماء يتحول مباشـرة إلى بلورات من الثلج، ولهذا نجد أن كثيرا من السحب فـى الجو البارد، تتـكون بصورة كاملـة من بلورات من الثلج، أو تـتكون من خليط من قطرات الماء وبلورات الثلج.

وعندما تكون قطرات الماء أو بلورات الثلج صغيرة الحجم، فإنها قد تبقى معلقة فى الهواء، ولكنهـا عندما تزداد في الوزن وتصبح ثقـيلة بدرجة كافية تبـدأ فى السقوط ببطء نحو سـطح الأرض، ويتوقف ذلك على وجود التـيارات الهوائية الصـاعدة وعلى شدتها، ولهـذا فإن بعض هذه القطرات أو البلورات قـد يعود إلى التبخـر مرة ثانية ولا يصل إلى سطح الأرض بتأثير مثل هذه التيارات.

وقد تؤدى تيارات الهواء الصاعـدة من سطح الأرض إلى حمل قطرات الماء من مستوى لآخـر، مما يسبب تجمـعها معا فى قطرات أكـبر نتيجة لتـصادم هذه القطرات بعضها مع بعض، وعندما يزيد وزنها عما تـستطيع هذه التيارات أن تحمله، تسقط على سطح الأرض على هيئة قطرات من الأمطار.

ويعتمد سقوط الأمطار على منطقـة من المناطق على نوع الجو السائد فوق هذه المنطقة، وكذلك على طبيعة هذه المنطقة الجغرافية وقربها أو بعدها عن مياه البحر.

ومن الملاحظ أن سقـوط الأمطار يكون أكثر غزارة فوق المناطق الاسـتوائية عنه فوق المناطق الأخرى، والسبب فى ذلك هو ارتفاع درجة حرارة هذه المناطق الاستوائية ممـا يتسبب فـى زيادة تبخر الـمياه من مـياه البحـار والبحيـرات، وخاصة أن مسـاحة المسطحات المائية تكون أكبر مما يمكن حول خط الاستواء على مدار الكرة الأرضية.

وتزداد كذلك احتمالات سقوط الأمطار على المناطق السـاحلية، وتزيد فيها نسبة ميـاه الأمطار على المـناطق الأخرى التى تـقع فى داخل القارات، كـما أن احتـمالات سقوط الأمطار تزداد كذلـك فوق المناطق المرتفعة عنهـا فوق الأراضى التى تقع تحت مستوى سطح البحر.

وتتسبب الجبال فى رفع الهواء المحمل بالـبخار إلى طبقات الجو العليا، وعندما يصعد الهواء إلى هذه الطبقات، يبرد، ويتكثف ما به من بخار الماء، ويسقط على هيئة أمطار.

ويبلغ متوسط سقوط الأمطار فى وسط القارة الأوربية نحو ٥٧,٤ من السنتيمترات فى السنة، بينما يرتفع هذا المتوسط فوق المناطق الجبلية ليصل إلى نحو ١٢٥ سنتيمترا فى العام.

كذلك لا يزيد متوسط سقوط الأمطار فى داخل القارة الأمريكية على ٤٠ سنتيمترا فى العام، بينما يزيد متوسط سقوط الأمطار على ذلك كثيرا فوق المناطق المرتفعة، فيصل فوق جبال روكى إلى نحو ٣٤٠ سنتيمترا فى العام.

ويقال أن أغزر الأمطار التى تسقط فى جميع أرجاء العالم تسقط فوق قرية «تشيرابونجى» «Cherrapunji»، وهى قرية هندية تقع على السفح الجنوبى لجبال الهيمالايا، ويبلغ متوسط مستوى مياه الأمطار فيها نحو ١٠٨٢ سنتيمترا فى العام، وإن كان قد زاد على ذلك عامى ١٨٦٠ - ١٨٦١، حيث بلغ مستوى مياه الأمطار فيها نحو ٢٦٤٦ سنتيمترا.

وعادة ما تسقط الأمطار فوق سفوح الجبال العالية المواجهة لهبوب الرياح، ولكن إذا كانت الجبال منخفضة نسبيا، فقد تسقط الأمطار فوق قمتها، أو تسقط فى الأراضى الواقعة خلفها.

أما فى المناطق الاستوائية، فتسقط الأمطار نتيجة لالتقاء الهواء الدافئ المحمل ببخار الماء الذى يغطى هذه المناطق، بتيارات الهواء البارد الآتية من المناطق الباردة في الشمال وفى الجنوب، ويؤدى ذلك إلى تكثف بخار الماء الموجود بالهواء الدافئ وتحوله إلى أمطار.

وعادة ما تتجمع السحب فى مناطق خاصة تعرف باسم حزام السحب، ويتوقف موقع هذا الحزام على حركة الشمس بالنسبة للأرض، فعندما تكون الشمس جنوب خط الاستواء، يكون حزام السحب فى نصف الكرة الجنوبى، وعندما تكون الشمس شمال خط الاستواء، يكون حزام السحب فى نصف الكرة الشمالى، وتتسبب حركة هذا الحزام فى تبادل فصول الأمطار والجفاف من مكان لآخر.

وتعتمد كثير من المناطق فى زراعاتها على مياه الأمطار، وقد يؤدى الجفاف فى بعض المناطق إلى تلف كثير من المحاصيل والنباتات، وإلى موت كثير من الماشية والأبقار، وقد يؤدى أيضا إلى حدوث المجاعات بين سكان مثل هذه المناطق.

وتؤثر إزالة الغابات تأثيرا كبيرا على سقوط الأمطار، فمن المعروف أنه فى المناطق التى تكثر بها الأشجار مثل الغابات، تتصاعد منها كميات كبيرة من بخار الماء

نتيجة لعمليات النتح التى تحدث فى أوراق النباتات، ولا شك أن جزءا كبيرا من هذا البخار يشترك فى تكوين الأمطار.

ويعتمد سقوط الأمطار فى أغلب الأحوال على درجة حرارة الأرض، فعادة ما تسقط الأمطار عندما يكون سطح الأرض باردا، ويتحقق ذلك فوق الغابات؛ لأنها لا تحتفظ بالحرارة مثل صخور الأرض، ولذلك تزيد فرصة سقوط الأمطار فوق الغابات على غيرها من المناطق، وتقل فرصة سقوط الأمطار بعد إزالة الغابات.

وتؤثر نسبة سقوط الأمطار على مستوى المياه فى أغلب الأنهار، فعندما تسقط الأمطار الغزيرة فوق منابع الأنهار، تفيض بعض هذه الأنهار وتغرق الأراضى التى تقع على شطآنها، وعندما تقل الأمطار فى أحد المواسم ينخفض مستوى الماء فى مثل هذه الأنهار، ويعز عندئذ الحصول على الماء العذب الكافى للشرب والرى وغير ذلك من الأغراض.

الثلج:

فى بعض الأحيان، عندما يكون الجو باردا بدرجة كافية فقد يسقط الثلج بدلا من مياه المطر.

ويعتقد البعض أن الثلج ينتج عن تجمد قطرات المطر فى أثناء سقوطها فى الهواء البارد، وقبل أن تصل إلى سطح الأرض، وقد يحدث هذا التجمد فعلا فى بعض الأحيان، ولكن ذلك لا يؤدى إلى تكون رقائق الثلج التى نعرفها، بل تتحول قطرات الماء نتيجة لهذا التجمد إلى كرات مستديرة الشكل تعرف باسم «البَرَد» «Hail Stones»، وهى تختلف كثيرا عن الثلج الرقيق الذى يشبه القطن المندوف.

ويتكون الثلج فى حقيقة الأمر عندما يتحول بخار إلى ثلج مباشرة، دون أن يمر بحالة السيولة، أى دون أن يتحول البخار إلى ماء.

ولا يحدث هذا التحول من بخار إلى ثلج إلا إذا كانت «نقطة الندى» «Dew Point» وهى درجة الحرارة التى يكون عندها الهواء مشبعا ببخار الماء، أقل من درجة الصفر المئوى.

ويؤدى تحول بخار الماء مباشرة إلى ثلج، إلى تكون بلورات رقيقة جدا من الثلج فى الهواء تشبه القطن المندوف، تحركها الرياح من مكان لآخر فى أثناء سقوطها على سطح الأرض.

ومن أغرب الأمـور أن جميـع بلورات الثلج المـتكونة بهـذا الأسلوب لها سـتة جوانب، أو ستة رءوس، كمـا أن هذه البلورات تكون مسطحة دائما وعلـى هيئة رقائق فقط، ولا توجد أبدا على هيئة كرات أو أية أشكال أخرى (شكل ١٠).



واحدة من بلورات الثلج الرقيقة ويلاحظ أن البلورة لها ستة رءوس
ولا تشبه واحدة منها الأخرى
(شكل ١٠)

وقد حيـرت هذه الظاهرة كل العلمـاء، فهم لا يعرفون لهـا سببا، كمـا أن لهذا الثلج الـمتساقط مـن السماء صفـة غريبة أخـرى، وهى أنه لا توجد بلورة مـن بلوراته مشابهة للأخرى، بينما تتبلور جميع المواد الأخرى فى شكل بلورى خاص بها لا تحيد عنه أبدا.

وقد قام أحد العلماء بتصوير عدة آلاف من بلورات هذا الثلج لمدة خمسين عاما متصلة، ومع ذلك لم يجد واحدة منها تشبه الأخرى.

وفى بعض الأحـيان يتساقط الثـلج من السحب المنـخفضة عندمـا تكون درجة حرارة الجو منخفضة بشكل مناسب، ولكنـه ينصهر ويتحول إلى مطر عند ارتفاع درجة الحرارة.

وعندما يتجمع الثلج المتساقط فوق المنـاطق الجبلية، تتكون منه طبقات سميكة من الجليد، ويعتبر هذا الجليد مصدرا هاما من مصادر المياه وتضاف المياه الناتجة عن انصهاره فى فصل الربيع أو فى الصيف إلى مياه الأنهار والبحيرات.

وتزداد احتمالات سقوط الثلج عادة عندما تعلو طبقة من الهواء الساخن المحمل ببخار الـماء، فوق طبقة أخـرى من الهواء البارد. وقـد يصاحب سقوط الثـلج هبوب تيـارات شديدة مـن الهواء، ويـنتج فى هذه الـحالة نـوع من العـواصف يعـرف باسم «العاصفة الثلجية» «Blizzard».

ومن أمثلة هذه العواصف، العاصفة الثلجية الشديدة التى هبت على مدينة نيويورك بالولايات المتحدة فى ١٢ مارس ١٨٨٨، وغطت المدينة بطبقة سميكة من الثلج بلغ سمكها عدة أمتار، ووصل مستواها إلى مستوى نوافذ الطابق الثانى فى بعض الأماكن. وقد سببت هذه العاصفة تعطل المواصلات وأدت إلى توقف كل الأنشطة الإنسانية فى المدينة تقريبا.

البَرَد:

يسقط البرَد عادة على هيئة كرات من الثلج مختلفة الأحجام، وهو يتكون عندما تتجمد قطرات المطر فى الهواء فى أثناء سقوطها وهى فى طريقها إلى سطح الأرض.

وتختلف أحجام هذه الكرات من حالة لأخرى، ويعتمد ذلك على شدة تيارات الهواء الصاعدة من سطح الأرض، وقد تحمل هذه التيارات بعض هذه الكرات صعودا وهبوطا عدة مرات، فتنمو فى الحجم نتيجة لالتقاطها لبعض قطرات الماء التى تتجمد حولها، ولهذا السبب نجد أن كثيرا من كرات البرَد يتكون من عدة طبقات، قد تصل أحيانا إلى نحو ٢٥ طبقة، تتكور كل منها حول الأخرى.

وعادة ما يؤدى سقوط البَرَد إلى عدة أضرار بالمبانى والسيارات، وقد تتلف بعض المحاصيل، ولكن هذا الضرر غالبا ما يكون محدودا، فالبَرَد لا يسقط إلا فى نطاق محدود جدا.





الفصل الخامس

مياه الأنهار

عندما تسقط الأمطار الغزيرة على سطح الأرض، يتسرب جزء منها إلى باطن الأرض مكونا المياه الجوفية، ولكن الجزء الأكبر من مياه الأمطار يجري على سطح التربة مكونا بعض الجداول أو الأنهار، أو يملأ بعض المنخفضات مكونا البحيرات.

وقد تتكون بعض هذه الجداول عند ذوبان الجليد الذى يغطى قمم بعض الجبال، أو عند ذوبان جليد الثلاجات، كما أن بعضا منها قد يتكون نتيجة لظهور المياه الجوفية فوق سطح الأرض.

وعندما تكون الأمطار غزيرة جدا فوق منطقة من المناطق، وتسقط عليها طوال العام، فإن هذه الجداول الصغيرة قد تتجمع معا أثناء اندفاع المياه فيها، مكونة أنهارا تحمل المياه إلى مسافات طويلة على سطح الأرض.

وتتكون أغلب الأنهار من مراحل ثلاث، تتميز فيها كل مرحلة عن الأخرى بمقدار الزاوية التى يصنعها مجرى النهر بالنسبة لمستوى سطح البحر، وهو ما نعبر عنه بزاوية ميل المجرى أو زاوية الانحدار.

وعادة ما تكون **المرحلة الأولى للنهر**، وهى المرحلة الجبلية عند منشأ النهر، مرحلة شديدة الانحدار، وقد يصل هذا الانحدار إلى ما يقرب من تسعة أمتار أو أكثر لكل كيلو متر من مجرى النهر.

ويؤدى هذا الانحدار الكبير فى مجرى النهر فى هذه المرحلة إلى اندفاع مياه النهر بسرعة كبيرة قد تصل إلى نحو ٣٠ كيلو مترا فى الساعة أو أكثر فى بعض الأنهار.

وحتى فى الحالات التى تقل فيها سرعة اندفاع المياه عن ذلك، فإن قوة اندفاع المياه تكون كبيرة جدا، وقد تكفى لانتزاع بعض الصخور من مجرى النهر وجوانبه، وقد يصل حجم هذه الصخور إلى متر مكعب أو أكثر.

وتتسبب هذه السرعة الكبيرة التى تندفع بها مياه النهر فى هذه المرحلة فى إحداث كثير من الأضرار بالتربة السطحية، فهى تجرف أمامها كل شىء وتعمل كعامل هام من عوامل التعرية.

وتبدأ **المرحلة الثانية** عندما تصل هذه المياه المندفعة إلى وادى النهر، فتقل سرعتها تدريجيا؛ وذلك لأن انحدار وادى النهر فى أوله قد لايزيد على مترين لكل كيلو متر من المجرى، ولذلك تقل كثيرا السرعة التى تندفع بها مياه النهر فى هذه المرحلة، وقد لا تزيد على ثمانية كيلو مترات فى الساعة، وتبدأ مياه النهر فى ترسيب جزء مما تحمله من رواسب، وهى الرواسب التى تتكون من مجموع الفتات الصخرى والطمى، والتى حملتها المياه فى أثناء اندفاعها الشديد فى المرحلة السابقة.

أما المرحلة الثالثة للنهر، فهى مرحلة السهل المنبسط، وهى المرحلة الأخيرة فى رحلة النهر، ويصب النهر مياهه بعدها فى البحر.

وعادة ما يكون انحدار هذه المرحلة قليلا جدا، ولهذا نجد أن مجرى النهر فى هذه المرحلة يتلوى يمينا ويسارا متخذا لنفسه أسهل الطرق وأقلها مقاومة، حتى تبلغ مياهه البحر أو المحيط.

وتحدث فى هذه المرحلة أعلى نسبة ترسيب من مياه النهر، ويمكن أن تتكون من مثل هذه الرواسب أرض فائقة الخصوبة على جانبى النهر، خاصة بعد مواسم الفيضان، وقد حدث هذا فى وادى نهر النيل فى مصر، وفى وادى نهرى دجلة والفرات فى العراق، ووادى نهر الأندوس فى الهند، ووادى النهر الأصفر فى الصين، وقد ساعد ذلك على قيام حضارات متقدمة فى هذه الوديان.

كذلك تكوِّن أغلب الأنهار الكبيرة أراضى خصبة متسعة عند مصباتها تعرف باسم «الدلتا».

وتنشأ هذه الدلتا نتيجة لتجمع الرواسب التى يحملها تيار النهر البطىء عندما تصل مياهه إلى المصب، وقد سميت الدلتا بهذا الاسم، لأنها عادة ما تكون مثلثة وتشبه حرف دلتا «Δ» فى اللغة الإغريقية.

ومن أشهر أنواع دلتا الأنهار ، دلتا نهر النيل، ودلتا نهر المسيسيبى، ودلتا نهر الأمازون، ودلتا نهر التيبر، ودلتا نهر الدانوب وغيرها.

وتعتبر مياه الأنهار من أهم مصادر المياه العذبة التى يستعملها الإنسان فى أغلب البلدان، ففى جمهورية مصر العربية تعتمد أغلب المدن على مياه النيل، وفى دولة مثل الولايات المتحدة تعتمد ثلاثة أرباع مدنها على مياه الأنهار.



وتحتوى مياه الأنهار والبحيرات العذبة على نسب متفاوتة من المواد العالقة التى تعرف باسم «الغرين»، كما تحتوى أيضا على قدر ما من الأملاح الذائبة التى تختلف من حالة إلى أخرى.

وقد تتراوح نسبة الأملاح الكلية الذائبة فى مياه الأنهار بين ٥٠ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون، وتتوقف طبيعة هذه الأملاح على نوع التربة التى تجرى فيها مياه النهر، أو مياه الأمطار المكونة لهذه الأنهار.

وقد تزيد نسبة الأملاح الذائبة إلى حد ما فى بعض أجزاء الأنهار بسبب ما قد يصيبها من تلوث، أو عندما تلقى فيها مياه المصارف أو المياه التى تحمل مخلفات بعض المصانع.

وقد بدأ الإنسان فى التفكير فى التحكم فى مياه الأنهار والبحيرات منذ زمن بعيد، فقد قام المصريون القدماء منذ عدة آلاف من السنين قبل الميلاد، ببناء نظام معقد من المصارف والخزانات للتحكم فى فيضان النيل فى بعض أوقات العام، وكذلك لتخزين مياه النهر فى أوقات التحاريق التى ينخفض فيها مستوى الماء، وذلك حتى يتمكنوا من استعمال مياه النهر فى أعمال الزراعة والرى على مدار العام.

كذلك اشتهر بعض مهندسى الإمبراطورية الرومانية بأعمالهم التى قاموا بها فى مجال المياه، فيحدثنا التاريخ أن مياه نهر «التيبر» كان بها بعض التلوث، ولذلك لم تكن مناسبة لاستخدامها للشرب، وقد قام المهندسون الرومان ببناء قنوات خاصة لجلب المياه العذبة إلى روما من مصادر أخرى خارج أسوار المدينة، وبلغ طول هذه القنوات نحو ٦٥٠ كيلو مترا.

كذلك وجد علماء الآثار بقايا لبعض مشروعات الرى فى كل من ولايتى أريزونا ونيومكسيكو بالولايات المتحدة، ومن المعتقد أن الهنود الحمر الذين كانوا يسكنون هذه المناطق فيما مضى، هم الذين قاموا بإنشاء مثل هذه المشروعات.

تخزين المياه فى السدود:

قد لا تكفى مياه الأنهار فى بعض الأحيان لمقابلة احتياجات بعض المناطق طوال العام، خاصة فى الفترات التى ينخفض فيها مستوى الماء فى النهر نتيجة لقلة سقوط الأمطار فوق منابع هذا النهر فى بعض فصول العام.

ويمكن مجابهة هذه المشكلة بإقامة سد صناعى على مجرى النهر يتم تخزين المياه فيه فى أثناء موسم الأمطار وأثناء ارتفاع مستوى المياه فى مجرى النهر.

وتظهر قيمة هذه السدود والخزانات عندما تنخفض مياه النهر بحيث يصعب استخدام مياهه فى أعمال الزراعة والرى، كما أن لبعض هذه الخزانات فوائد أخرى حيث يمكن استخدامها فى توليد الكهرباء.

وقد بدت قيمة أحد هذه السدود بشكل ظاهر فى جمهورية مصر العربية فى السنوات الأخيرة، وهو السد العالى، فقد مرت عدة سنوات من الجفاف على بعض المناطق الاستوائية، وقلت نسبة الأمطار المتساقطة على هضبة الحبشة لعدة سنوات متتالية، مما أدى إلى انخفاض مستوى الماء فى نهر النيل وقل تصرف النهر بشكل كبير.

وقد أمكن حجز كميات كبيرة من الماء أمام السد العالى فى بحيرة ناصر، ويدأ السحب منها بطريقة محسوبة خلال هذه الفترة، فلم تتأثر بذلك أعمال الزراعة والرى فى وادى النيل رغم استمرار الجفاف لمدة تزيد على ست سنوات متتالية.

ولبعض هذه الخزانات عيوب ملحوظة، فهى على الرغم من أنها قد توفر احتياجات المدن والتجمعات الحضارية القريبة منها، أو التى تقع خلفها مباشرة، إلا أنها تؤثر بشكل ما على تصرف النهر المقامة عليه، مما قد يضر بمصالح المدن أو التجمعات العمرانية التى تقع بعيدا عن هذه الخزانات أسفل مجرى النهر، وفى اتجاه المصب.

وعادة ما تقوم الدول بوضع تشريعات خاصة أو تعقد اتفاقيات فيما بينها لتحديد سعة التخزين فى مثل هذه الخزانات، وخاصة عندما يكون ماء النهر مشاعا بين عدة دول على طول مجراه.

وهناك أيضا بعض المشاكل الهندسية التى يجب العناية بها قبل البدء فى بناء هذه الخزانات، مثل ضرورة التأكد من صلابة الصخور التى يقام فوقها الخزان، والتأكد من متانة جدران بحيرة التخزين، وعدم وجود مسارب أو شروخ فى هذه الجدران أو فى صخور القاع، مع حساب قدرة هذه الصخور على تحمل الضغوط الكبيرة التى تنشأ عن تخزين كميات ضخمة من الماء فى بحيرة التخزين.

كذلك يجب أن يؤخذ فى الاعتبار تمدد جدران الخزان المصنوعة من الأسمنت بارتفاع درجة الحرارة فى فصل الصيف، وتقلص هذه الجدران فى فصل الشتاء، كما يجب أن يكون لكل خزان من هذه الخزانات مجرى جانبى يمكن عن طريقه تصريف

المياه فى حالات الارتفاع المفاجئ فى منسوب النهر عند مواسم الأمطار الغزيرة أو الفيضانات.

مشكلة الغرين:

يندر أن تخلو مياه الأنهار من المواد العالقة، فأغلب الأنهار تحتوى مياهها على بعض الغرين والطمى، وبعض فتات الصخور العالقة بها.

ونظرا لأن تخزين مياه الأنهار أمام السدود يؤدى إلى بقاء هذه المياه ساكنة مدة طويلة فى بحيرات التخزين، فإن نسبة كبيرة من هذا الغرين والمواد العالقة يترسب على قاع هذه البحيرات بمرور الزمن.

وينتج عن هذا الترسيب المستمر، أن يبدأ الحجم الكلى لبحيرة التخزين الواقعة أمام السد فى الانكماش عاما بعد عام، فتقل بذلك كميات المياه المتاحة من هذا الخزان بمرور الوقت.

والأمثلة على هذه الظاهرة كثيرة، ففى الولايات المتحدة بنى سد تخزين عام ١٨٩٥ فوق نهر كولورادو عند «أوستن»، وكانت سعة بحيرة التخزين متوسطة القدر، ولكن هذه السعة انخفضت بعد سنوات قليلة إلى خمس السعة الأصلية نتيجة للترسيب المستمر للغرين والمواد العالقة الأخرى فى قاع بحيرة التخزين، مما أفقد الخزان جزءا كبيرا من أهميته.

كذلك هناك بحيرة تخزين أخرى فى الولايات المتحدة تعرف باسم «بحيرة لوكومين»، فقدت نحو ٨٣٪ من قدرتها على التخزين فى خلال مدة بسيطة لا تزيد على ٣٦ عاما.

وقد لوحظت نفس هذه الظاهرة فى بحيرة ناصر التى تقع أمام السد العالى بجمهورية مصر العربية، فقد بدأ كثير من الطمى يترسب على قاع هذه البحيرة، وتزداد نسبته كل عام.

ولا يجب الاستهانة بكميات الغرين والطمى التى تحملها مياه بعض الأنهار، فمياه نهر النيل مثلا تحمل معها كل عام نحو ٨٠ - ١٠٠ مليون متر مكعب من الطمى كل عام، وهذا الطمى هو الذى ساهم فى بناء دلتا نهر النيل على مر العصور، وهو الذى أدى إلى خصوبة التربة فى وادى النهر.

وهناك بعض الطرق المقترحة للتغلب على مشكلة الترسيب فى بحيرات التخزين أمام السدود، منها إزالة الطمى من هذه البحيرات بواسطة الكراكات، أو بإدخال المياه

أولا فى أحواض ترسيب خاصة قبل إدخالها إلـى بحيرات التخزين، ولكن هذه الطريقة تستلزم أيضا أن يرفع الطمى كل مدة من هذه الأحواض بواسطة الكراكات حتى لا تفقد هذ الأحواض صلاحيتها.

وهناك كذلك طرق أخرى مثل عمل بوابات خاصة فى الجزء الأسفل من الخزان يسحب منها المـاء كل فترة، ويمكن بذلك سحب جزء من الطمى من بـحيرة التخزين مع تيار الماء المندفع من هذه البوابات، ولكن هذه الطريقة لا تصلح فى حالة بحيرات التخزين الكبيرة؛ لأن تيار الماء الخـارج من هذه البوابات لن يزيل إلا الطمى المجاور لحائط السد فقط.

مشكلة التبخر:

يتم عادة تخزين مياه النهر فى أجزاء متسعة من المجرى، يكون فيها سطح الماء مكشوفا ومـعرضا لحرارة الشمس ولفـعل الرياح، ولذلك فإن جزءا ملحـوظا من مياه بحيرة التخزين يتم فقده عن طريق التبخر.

وعادة ما يكون تأثير الـتبخر ملحوظا فى المناطق الحارة أو فـى المناطق الجافة والصحراوية، كما فى حالة بعض بحيـرات التخزين الواقعة فى جنوب وغرب الولايات المتحدة، وكما فى بحيرة ناصر التى تقع على مدار السرطان.

ويمكننا تصور الكمـيات الكبيرة من المياه التى تفقد عن طـريق التبخر إذا أخذنا مثالا لذلك بحيرة التخزين المعروفة باسم بحيرة «ساهوارو» «Lake Sahuaro» بأريزونا بالولايات المتحدة، وهى تغطى نحو ٦٠٠ هكتار، فقد لوحظ أنها تفقد نحو ١,٥ من الأمتار من ارتفاع المياه بها كل عام بسبب التبخر.

كذلك لوحظ أن بحيرة ناصر بجمهورية مـصر العربية تفقد نحو ٢,٧ من الأمتار من منسوب المياه بها كل عام، ويعنى ذلك أن كميـة المياه المخزونة بهذه البحيرة تقل بمقدار ١٥,٥ مليار من الأمتار المكعبة فى العام بسبب هذا التبخر.

كذلك تفقد بحيرة «هفنر» «Lake Hefner» التى تمد مدينة أوكلاهوما بالولايات المتحدة بالماء، أكـثر من نصف متر من منسوب المياه بها خـلال أشهر الصيف الحارة فى الفترة من يونيو إلى أغسطس كل عام.

وتعتبر هذه الكميات الكبيرة التى تفقـد من الماء بسبب التبخر، خسارة كبيرة فى عمليات تخزين المـياه، وتزداد هذه الخسارة كلما زادت مساحة بحيـرة التخزين وكلما ارتفعت درجة حرارة الجو.

وهناك بحوث كثيرة خاصة بمحاولة الحد من تبخر المياه من سطح بحيرات التخزين، وأفضل الطرق التى جربت بنجاح هى الطريقة المستعملة حاليا والتى تتضمن تغطية سطح الماء بطبقة رقيقة من بعض المواد الكيميائية التى تطفو على سطح الماء وتمنع تبخره.

وقد استخدم لهذا الغرض خليط من كحولين عضويين هما «هكسا ديكانول» «Hexadecanol» و«أوكتا ديكانول» «Octadecanol» وهى مواد عضوية تتركب جزيئاتها من سلاسل طويلة من ذرات الكربون يصل عددها فى واحد منها إلى ست عشرة ذرة وفى الآخر إلى ثمانى عشرة ذرة.

وتكون هذه المواد عند رشها على الماء طبقة رقيقة جدا تغطى سطح الماء. ولا يزيد سمك هذه الطبقة على سمك جزىء واحد من جزيئات هذه المواد، ولكن هذه الطبقة المتناهية فى الرقة، تكفى لمنع جزيئات الماء من مغادرة سطح البحيرة والانطلاق إلى الهواء، أى أنها تكفى لمنع تبخر الماء.

وقد تؤدى الرياح التى تهب على سطح بحيرة التخزين، إلى قطع هذه الطبقة الرقيقة فى بعض الأحيان، ولكنها سريعا ما تلتئم مرة أخرى لتكون طبقة كاملة تغطى كل سطح الماء.

وقد استعملت هذه الطريقة لتقليل تبخر الماء من بحيرة «ساهوارو» فى الولايات المتحدة، وأدت هذه الطبقة الرقيقة من الكحولات إلى تخفيض التبخر من سطح هذه البحيرة بنسبة لا بأس بها تصل إلى نحو ١٥ ٪ تقريبا، وهناك نتائج أفضل من ذلك فى بعض الحالات الأخرى.

وعادة ما تؤدى هذه الطبقة الرقيقة التى تنتشر فوق سطح الماء إلى رفع درجة حرارة ماء البحيرة قليلا ما، ولكن هذا لا يؤثر على مياه التخزين ولا يسبب أى ضرر للكائنات الحية التى تعيش فى هذه المياه.

ولا يؤثر وجود هذه الطبقة الرقيقة من المواد الكيميائية على الصفات الطبيعية أو الخواص الكيميائية للماء، فهى مواد لا رائحة لها ولا طعم، ولا تغير من رائحة الماء أو طعمه.

وهناك بعض المشاكل التى تنشأ عن حجز مياه الأنهار أمام السدود، منها أن ماء النهر خلف السدود يصبح صافيا وخاليا من الطمى؛ لأن أغلب ما كانت مياه النهر تحمله من طمى قد ترسب فى بحيرة التخزين.

ويؤدى ذلك إلى ظاهرة النحـر وتآكل شطئان النهر بمرور الزمن، كـما أن عملية ترسيب الطمى عـند مصب النهر تتوقف تمامـا، وتبدأ معها ظاهرة تآكل دلـتا النهر من عام لآخر، وتبدأ شواطئها فى التراجع أمام أمواج مياه البحر.

وتشاهد مـثل هذه الظاهرة بوضوح فـى دلتا نهر النيـل بعد إقامة السـد العالى، وخاصة عند مصب فرع النهر عند دميـاط، فقد تراجع شاطئ رأس البر خلال السنوات العشر الماضية إلى حد كبير بحيث أصبحت بعض الأكشاك والكبائن المقامة أصلا على الشاطئ محاطة اليوم بماء البحر.

وقد لوحظ تآكل مماثل عند مصب الفرع الثانى للنيل عند مدينة رشيد يقدر بنحو ثلاثين مترا فى العام على وجه التقريب.

ويؤدى نقص الـطمى والمواد الـعالقة فى مـياه النهـر كذلك إلى حـدوث بعض الظواهر البيولوچية التى لم تكن معروفـة من قبل. ومثال ذلك هروب السردين من مياه مصب النـيل عند فرع رشيد، بـعد غياب الطمـى المحمل بالكـائنات الدقيقة مـن مياه النهـر؛ وذلك لأن السـردين كان يتغذى على هذه الكـائنات قبل تخزين ميـاه النهر أمام السد العالى.

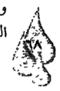
وبالإضافة إلى كل ذلك فإن الطمى الذى تحمله مياه الأنهار يؤدى عادة إلى إثراء التربة الزراعية فى وادى الـنهر، ويوفر للنباتات كثيرا من الـفلزات النادرة التى ترفع من خصوبة التربة، وتؤدى إلى تحسين المـحاصيل، ولا شك أن نقص الطمى الذى تحمله المياه سـيؤدى إلى نقص هذه الفلزات النادرة، ممـا سيسبب بعض الأضرار لـكثير من المحاصيل الزراعيـة، ويستوجب الأمر تعويض هذا النقص باستـعمال أنواع خاصة من المخصبات.

تخزين المياه فى البحيرات الطبيعية:

يتم فى بعض الأحيان تخزين مياه النهر فى بعض البحيرات الطبيعية التى تقع فى وادى النهر، أو بالقرب من مصبه، وتساعد هذه الطـريقة على حفظ جزء كبير من مياه النهر العذبة بدلا من أن تذهب سدى إلى البحار والمحيطات.

وهناك مشروع من هـذا النوع فى جمهورية مصـر العربية لتخزين مـياه النيل فى بحيرة المنزلة والبرلس بحجم يصل إلى نحو ٤ مليار متر مكعب.

ويتضمـن هذا المشروع تحويـل بحيرة البرلس إلى بـحيرة مياه عـذبة بالكامل، وتحويل نحو ٧٠٪ من بحيرة المنزلة إلى بحيرة عذبة، والإبقاء على ٣٠٪ من مساحتها التى تصل إلى نحو ٩٠ ألف فدان على وضعها الحالى.



ويتم هذا التحويل بإمداد البحيرتين بـمياه النيل من كل من فرعى رشيد ودمياط، مع إضافة جزء من مياه المصارف إليهما.

ويمكن الاستـفادة من هذه المياه العـذبة بعد ذلك فى زراعة المناطـق المجاورة لهذه البحيرات، والتى تصل مساحتـها إلى حوالى ٣٠٠ ألف فدان على وجه التقريب، كما أن ذلك سـيساعد على تحسـين صفات المياه الـجوفية بأراضى الدلتـاوخاصة فى مناطقها الشمالية، مما سيقلل من تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية.

وهناك مشروعات مـماثلة لتخزين مياه الـنيل فى وادى النطرون أو وادى الريان، وهى مشروعات تدرس حاليا حتى تتمكن مصر من مواجهة احتياجاتها من المياه العذبة عام ٢٠٠٠، والتى قـد تصل إلى نحو ٨٠ ملـيار من الأمتار الـمكعبة، بينـما لا تزيد حصتها الحالية من مياه النيل على ٥٥,٥ مليار متر مكعب كل عام فقط.

فيضان الأنهار:

يحدث فيـضان النهر عندما تزيد الـمياه الناتجة من سـقوط الأمطار أو من ذوبان الجليد عند منبعه، إلى حد كبير، بحـيث لا يستطيع مجرى النهر أن يستوعب كل هذه المياه، فيرتفع مستوى الماء فى مجرى النهر ويفيض ليغطى أراضى الوادى المحيط بهذا المجرى.

ويتضح من ذلك أن فيضان النهر يعتمد على تصرف مياه النهر، الذى يزداد كثيرا فى وقت الفيضان ويقل كثيرا فى موسم انقطاع الأمطار.

ويصل تصرف نهر كبـير مثل نهر المسيسيبى إلى نـحو ٥٤٠٠٠ متر مكعب فى الثانية، ويمكننـا أن ندرك مدى ضخامة هذا التصرف إذا علمنا أن تـصرفا مقداره واحد سنتيمتر مكعب من الماء فى الثانية، يعطى ٩٠ لترا من الماء فى اليوم.

ويبلـغ تصرف نهـر آخر مـثل نهر الأمـازون بأمريـكا الجنوبـية حدا هـائلا من الضخامة، حـتى أن مياهه المحملة بالغـرين تدخل فى مياه المحيط الأطلنـطى لمسافة ٣٢٠ كيلو متر من الأرض.

وتسبـب فيضانـات الأنهار فى بعض الأحـيان كثيـرا من الأضرار لسكـان البلاد المجاورة لمجرى النهر، ومثال ذلك فيضـانات النهر الأصفر فى الصين التى تسببت فى موت ملايين مـن البشر خلال القرون المـاضية، وتؤدى فيضانـات الأنهار فى الولايات المتحدة إلى خسائر تقدر بملايين الدولارات كل عام.

ويعتـبر فيضـان النيل قبل بناء الـسد العالى، واحـدا من أهم فيضـانات الأنهار وأكثرها انتظاما، فقد كان يحدث فى أغسطس وسـبتمبر من كل عام، وكانت مياه النهر

تنتشر فوق أراضى الوادى فى كثير من الأمـاكن حول المجرى، وتترك وراءها ما تحمله من غرين يزيد فى خصوبة التربة عاما بعد عـام، ولكن فيضان النهر امتنع الآن بعد بناء السد العالى فوق مجرى النهر جنوب أسوان.

ألوان الأنهار:

يطلق على بعض الأنهـار أسماء خاصة تدل على ألوان معيـنة، ومثال ذلك فرع النيل المســمى النيل الأزرق، وفرعه الآخر الـمسمى النيل الأبيض، وهنـاك عدة أنهار يطلق عليها اسم «Rio Blanco» باللغة الأسبانية وهى تعنى النهر الأبيض.

وهناك أيضا النـهر الأحمر فى الولايات المـتحدة، والنهر الأصفـر فى الصين، وعادة ما يكون لون النهر منسوبا إلى ما تحمله مياهه من طمى أو طفل، أو منسوبا إلى لون صخور المـجرى مثل النهر الأسود فى كيـنيا وتنزانيا، فمجراه يـتكون من صخور سوداء وحمم بركانية صلبة.





الفصل السادس

مياه المحيطات

يمكن اعتبار القارات جزرا كبيرة الحجم وسط مياه المحيطات؛ وذلك لأن مياه المحيطات تغطى أكثر من ٧٠٪ من سطح الكرة الأرضية.

ويبلغ متوسط عمق المحيطات نحو ٣٨٠٠ متر، بينما لا يزيد متوسط ارتفاع سطح القارات عن مستوى سطح البحر على ٨٤٠ متر.

يصف العلماء كلاًّ من الغلاف الجوى، وغلاف الماء الذى يغطى سطح الكرة الأرضية بأنه الغلاف الحيوى الذى تعيش فيه مختلف الكائنات الحية، ويعتبر الغلاف المائى أكبر جزء من هذا الغلاف الحيوى، فيزيد حجمه على بقية أجزاء الغلاف الحيوى بنحو ٣٠٠ مرة، ولذلك نجده يحتوى على أنوع كثيرة من الكائنات الحية.

ولا تنتشر الكائنات الحية فى المياه السطحية للبحار والمحيطات فقط، ولكنها تعيش كذلك فى أعماق هذه البحار وعلى قيعان المحيطات.

وقد استعمل الناس منذ قديم الزمان مياه البحار فى انتقالهم من مكان لآخر، واستخدموا فى ذلك أنواعا مختلفة من السفن والمراكب.

وقد استخدم المصريون القدماء منذ أكثر من ٣٠٠٠ عام، مراكب تسير بالمجاديف، وعبروا بها البحر الأحمر إلى سواحل أفريقيا وإلى الصومال.

كذلك ذكر المؤرخ الإغريقى «هيرودوت» أن الفينيقيين قد داروا بسفنهم حول أفريقيا منذ نحو ٧٠٠ عام قبل الميلاد، ويعتقد كذلك أنهم قد استطاعوا عبور جزء من المحيط الأطلنطى، ووصلوا بسفنهم جزر الأزور وجزر الكنارى.

وهناك روايات أخرى عن قيام «الفايكنج» الذين كانوا يسكنون شبه جزيرة إسكندنافيا، بعبور المحيط الأطلنطى قبل أن يفعل ذلك المستكشف المشهور «كريستوفر كولومبس»، وقبل أن يقوم «ماجلان» بالدوران حول جزء من الكرة الأرضية بسفينته.

ويرجع اهتمام الناس بالبحار إلى أزمان بعيدة، فمنها كانوا يصطادون بعض الأسماك لغذائهم، ولكن الاهتمام الحقيقى بما يوجد فى الماء من كائنات، يعود إلى القرن الثالث قبل الميلاد، على يد الفيلسوف الإغريقى «أرسطو»، ثم تطور الأمر بعد ذلك وحظيت مياه البحار باهتمام عالمى واسع اشتمل على دراسة طبيعتها وما بها من كائنات.

وجود الأملاح:

مياه البحار ليست مياها عذبة، فهى تحتوى على كثير من الأملاح الذائبة فيها، ورغم تنوع هذه الأملاح واختلاف نسبها، إلا أن واحدا منها، وهو كلوريد الصوديوم الذى يعرف باسم ملح الطعام، يعتبر أكثر هذه الأملاح انتشارا فى مياه البحار والمحيطات.

وقد حاول الناس تفسير السبب فى ظاهرة ملوحة مياه البحار والمحيطات منذ قديم الزمان، ولكن بعض هذه التفسيرات كان غريبا جدا وغير مألوف، ويرفضه عقلنا اليوم.

وتروى إحدى هذه الأساطير أن إحدى السفن التى كانت تعبر المحيط كانت تحمل على سطحها آلة لطحن الملح، وأن هذه الآلة كانت تعمل ببعض الكلمات السحرية، وعندما غرقت السفينة ومعها هذه الآلة، استمرت فى طحن الملح؛ لأن الناس نسوا الكلمات السحرية التى تستطيع أن توقفها عن العمل، وراحت بذلك تزيد من ملوحة البحار يوما بعد يوم.

والسبب الحقيقى فى ملوحة مياه البحار والمحيطات، أن أى مياه تجرى فوق سطح الأرض لا يمكن أن تحتفظ بنقاوتها، ولذلك فإن مياه الأمطار ومياه الأنهار تذيب فى طريقها وهى تجرى فوق سطح الأرض أو فى مجراها الطبيعى، كثيرا من الأملاح الموجودة بالتربة، وتحملها معها عندما تصب فى البحار أو فى المحيطات.

وتختلف ملوحة مياه البحار والمحيطات اختلافا بسيطا من مكان لآخر، ويبلغ متوسط هذه الملوحة عادة نحو ٣٥ جزءا فى كل ١٠٠٠ جزء من الماء، أى ٣٥ جرام فى اللتر أو ٣,٥ ٪.

وقد تقل ملوحة مياه البحار عن ذلك فى بعض الأحيان، فى المياه المجاورة للشواطئ أو فى المياه السطحية للبحر.

وتعتمد ملوحة المياه السطحية للبحار والمحيطات على النسبة بين عاملين رئيسيين، **أولهما**: هو السرعة التى قد تتبخر بها هذه المياه، **وثانيهما**: هو ما قد يتساقط عليها من مياه الأمطار، أو ما قد يصلها من ماء عذب ناتج من انصهار الثلوج.



وتتحدد هذه النسبة عادة بواسطة درجة الحرارة أو بنوع المناخ السائد فوق منطقة من المناطق، فإذا زادت نسبة التبخر زاد تركيـز الأملاح فى المياه السطحية للبحر، وإذا زادت كمية الأمطار المتساقطة قل تركيز الأملاح فى هذه الطبقة.

ومن أمثلة ذلك مياه المحيط القطبى الذى تقـل فيه نسبة الملوحة بشكل ملحوظ نتيجة لانخفاض درجـة حرارة الجو فوق سطحه إلى حد كبير مما يقـلل من نسبة تبخر مياه هذا المحيط، بالإضـافة إلى الكميات الضخمة من المياه العـذبة التى تصبها بعض أنهار سيبيريا فيه.

وقد تقل درجـة ملوحة المياه كـذلك فى بعض البحار شـبه المقفلة، مـثل بحر البلطيق، وتبلـغ نسبة الملوحة فيـه نحو ١٠ جرام فى اللتر، ولكن درجـة الملوحة قد تزيد كذلك فى بـعض هذه البحار المقفلـة خاصة فى المناطق الحارة والـجافة التى لا تسقط بها الأمطار.

ومن أمثلة ذلك بـعض البحيرات الصغـيرة الموجودة بولاية تكـساس بالولايات المتحدة، وترتفع فيها نسبة الملوحة إلى نحو ١٠٠ جرام فى اللتر فى فصل الصيف.

نسبة الأملاح الذائبة فى بعض البحار والمحيطات

البحـر	نسبة الأملاح الذائبة فى الماء جم / لتر
البحر الأبيض	٣٨,٥
البحر الأحمر	٤٠
الخليج العربى	٤٣
المحيط الأطلنطى	٣٦
المحيط الهادى	٣٣,٥
المحيط الهندى	٣٣,٨
بحر البلطيق	١٠
البحر الأسود	١٣
بحر الأدرياتيك	٢٥



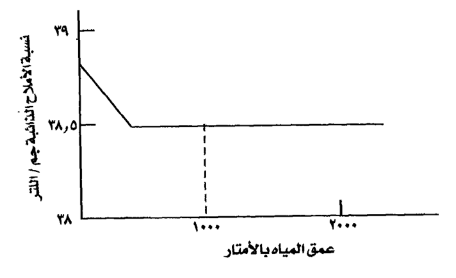
ولا تزيد نسبة الملوحة عادة فى مياه المحيطات فى المناطق الاستوائية على ٣٥ جم فى اللتر، وذلك لأن الأمطار الغزيرة التى تسقط فى هذه المناطق تعادل كمية المياه التى يفقدها سطح المحيط نتيجة للتبخر.

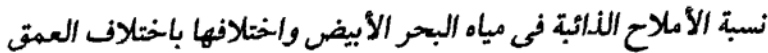
أما فى المناطق تحت الاستوائية، شمال وجنوب خط الاستواء، فإن نسبة ملوحة مياه البحار فيها قد تصل إلى نحو ٣٧ جراما فى اللتر، بسبب زيادة نسبة التبخر على نسبة سقوط الأمطار.

ولا تتغير نسبة ملوحة مياه الأعماق فى المحيطات من مكان لآخر كما فى حالة المياه السطحية؛ وذلك لأن مياه الأعماق لا تتأثر بعمليات التبخر ولا تصلها مياه الأمطار، ولهذا السبب فإن مياه الأعماق، وهى أساس مياه المحيطات، تبقى بها نسبة الملوحة فى حدود ضيقة جدا ولا تزيد على ٣٤,٥ أو ٣٥ جراما فى اللتر.

وقد يستثنى من ذلك بعض البحار شبه المقفلة مثل البحر الأبيض المتوسط الذى تصل فيه نسبة الأملاح الذائبة إلى نحو ٣٨,٥ جراما فى اللتر، ومثل مياه البحر الأحمر الذى تصل فيه نسبة الملوحة إلى نحو ٤٠ جراما فى اللتر.

وفى حالة البحر الأبيض المتوسط، تصل نسبة الأملاح الذائبة فيه إلى أعلى نسبة فى المياه السطحية فقط، ثم تقل هذه النسبة تدريجيا إلى نحو ٣٨,٥ من الجرامات فى اللتر حتى عمق ١٠٠٠ متر من سطح البحر، ثم تبقى هذه النسبة ثابتة بعد ذلك مهما زاد عمق المياه، ويمكن التعبير عن ذلك بالرسم البيانى التالى:

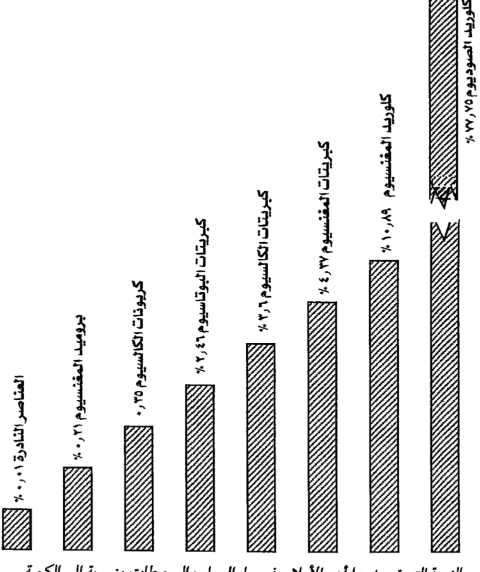


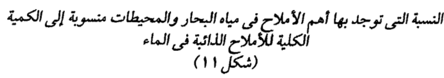

نسبة الأملاح الذائبة فى مياه البحر الأبيض واختلافها باختلاف العمق



ويعتبر كلوريد الصوديوم من أهم الأملاح الذائبة فى مياه البحار، وتزيد نسبته فى هذه المياه كثيـرا على نسبة كل الأملاح الأخرى، وقد تصل نسـبته إلى نحو ٨٠٪ من الكمية الكلية للأملاح الذائبة فيها.

وتحتوى مياه البحار والمحيطات على كثير من الأملاح الأخرى، وخاصة أملاح المغنسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم (شكل ١١).




النسبة التى توجد بها أهم الأملاح فى مياه البحار والمحيطات منسوبة إلى الكمية الكلية للأملاح الذائبة فى الماء
(شكل ١١)



ويلى كلوريد الصوديوم فى الأهمية، كلوريد المغنسيوم، ويوجد فى مياه المحيطات بنسبة لا بأس بها، قد تصل إلى ١٠ - ١١ ٪ من الكمية الكلية للأملاح الذائبة، وإذا أخذنا فى الاعتبار ضخامة حجم مياه البحار والمحيطات لاتضح لنا ضخامة كمية فلز المغنسيوم الموجودة بهذه المياه.

وقد أمكن حديثا استغلال هذه الكميات الهائلة من المغنسيوم التى توجد فى مياه البحار، وابتكرت طريقة اقتصادية لاستخلاص فلز المغنسيوم من هذه المياه.

وتتلخص هذه الطريقة فى خليط مياه البحر بهدروكسيد الكالسيوم فى أحواض ضخمة، فيتحول المغنسيوم الموجود بالماء إلى هدروكسيد المغنسيوم الذى يرشح بعد ذلك. وجدير بالذكر أن الجير أو هدروكسيد الكالسيوم المستعمل يحضر كذلك بتسخين المحار إلى درجة حرارة عالية.

ويعالج هدروكسيد المغنسيوم بعد ذلك بحمض الهدروكلوريك لتحويله إلى كلوريد المغنسيوم، ثم يركز المحلول بعد ذلك ويبخر إلى درجة الجفاف، وينقل كلوريد المغنسيوم الجاف بعد ذلك إلى خلايا التحليل الكهربائى، ويجمع فلز المغنسيوم من حول الأقطاب السالبة، على حين يستعمل غاز الكلور المتصاعد حول الأقطاب الموجبة فى صنع مزيد من حمض الهدروكلوريك المستعمل فى هذه الطريقة (شكل ١٢).

وتوجد أملاخ الكالسيوم فى مياه البحار والمحيطات بنسبة متوسطة؛ وذلك لأن أغلب مركبات الكالسيوم شحيحة الذوبان فى الماء، فنجد مثلا أن نسبة كربونات الكالسيوم فى مياه البحار لا تزيد على ٠,٣٥ ٪ من الأملاح الكلية الذائبة، بينما توجد كبريتات الكالسيوم بنسبة ٤,٧٣ ٪ من الكمية الكلية للأملاح الذائبة.

ويمثل وجود عنصر الكالسيوم على هيئة مركباته فى مياه البحار، أهمية كبرى بالنسبة للكائنات الحية التى تعيش فى الماء، فكثير منها تصنع منه هياكلها وأصدافها.

ويمكن الاستدلال على الكميات الكبيرة من كربونات الكالسيوم التى حملتها الأنهار إلى البحار والمحيطات خلال العصور الجيولوجية القديمة، من وجود بعض رواسب الحجر الجيرى المنتشرة فى كل مكان، كما فى هضبة دوفر ببريطانيا، وفى تلال أبو رواش بالجيزة بمصر وغيرها.

ويقل وجود أملاح البوتاسيوم فى مياه البحار عن ذلك كثيرا، وأهم مركبات البوتاسيوم فى مياه البحار هى كبريتات البوتاسيوم، ولا تزيد نسبتها فى هذه المياه على ٢,٤٦ ٪ من الكمية الكلية للأملاح الذائبة.



تحميص المحار
إلى جير
ماء البحر
هدروكسيد كالسيوم
هدروجين
غاز
الكلور
خلية كهربائية
حوض ترسيب هدروكسيد
المغنسيوم
حمض
هدروكلوريك
ترشيح هدروكسيد
المغنسيوم
تجفيف
كلوريد المغنسيوم
تبخير
فلز المغنسيوم

تحضير فلز المغنسيوم من ماء البحر
(شكل ١٢)

وتكون أملاح البوتاسيوم مع نوع من الطَّفل رواسب هامة توجد فى بعض قيعان البحار، وهى تستعمل فى صنع أنواع من المخصبات الزراعية المحتوية على البوتاسيوم.

ويستدل كذلك على وجود كميات كبيرة من مركبات البوتاسيوم فى مياه البحار القديمة، من وجود بعض الرواسب الطبيعية الغنية بأملاح البوتاسيوم فى بعض المناطق، كما فى منطقة «ستاسفورت» «Stassfurt» بألمانيا، وفى منطقة «سوليكامسك» «Solikamsk» بالاتحاد السوفيتى وفى بعض المناطق الشرقية من نيو مكسيكو وتكساس بالولايات المتحدة وغيرها، وهى مناطق ترسبت فيها أملاح البوتاسيوم فى الزمن القديم عندما كانت البحار القديمة تغطى أراضى هذه المناطق.

وتحتوى مياه البحار على مركبات كثير من العناصر الأخرى، فيوجد بها عنصر الكبريت مرتبطا ببعض العناصر الأخرى على هيئة عديد من المركبات.

كذلك تحتوى مياه البحار والمحيطات على بعض مركبات عنصر البروم، ويستخرج البروم من ماء البحر بإحلال غاز الكلور محله فى مركباته، وهو يستعمل فى الصناعة فى تحضير كثير من المركبات الهامة.

وتوجد أيضا مركبات اليود فى مياه البحار، وهى تتركز بصفة خاصة فى بعض **الأعشاب البحرية**، ويستخرج اليود من هذه الأعشاب بعد تجفيفها.

وتنتشر مركبات الكربون كذلك فى مياه البحار، فيوجد أبسط هذه المركبات، وهو غاز **ثانى أكسيد الكربون** ذائبا فى الماء، كما توجد أيضا بعض أملاح الكربونات والبيكربونات فى مياه البحار، وينتشر عنصر الكربون بصفة خاصة على هيئة كثير من المركبات العضوية فى أجسام الكائنات الحية التى تعيش فى مياه البحار سواء كانت من النبات أو الحيوان.

وعندما تموت هذه الكائنات الحية، تتجمع بقاياها على قاع المحيط ثم تطمر تدريجيا تحت سطح التربة وتتحول بتأثير الحرارة والضغط إلى بعض المواد الهدروكربونية مثل زيت البترول والغاز الطبيعى التى تستعمل بعد ذلك كوقود.

وتحتوى مياه البحر كذلك على بعض مركبات عنصر البورون، وتتجمع بعض هذه المركبات أحيانا فى أجسام بعض أنواع الكائنات الحية البحرية.

ويوجد أيضا عنصر السليكون فى مياه البحر،وخاصة فى أجسام بعض الكائنات الحية الدقيقة مثل الدياتوم.



وتحتوى مياه البحار والمحيطات بالإضافة إلى كل ذلك على مركبات كثير من العناصر الأخرى، مثل مركبات الألومنيوم والفوسفور والحديد والباريوم والفلور والزرنيخ والنحاس والمنجنيز بنسب صغيرة تختلف من حالة لأخرى.

وجود الغازات:

يذوب كثير من الغازات فى مياه البحار، وأهم هذه الغازات هى تلك الغازات التى توجد فى الهواء، مثل الأكسچين والنتروچين وثانى أكسيد الكربون.

وتذوب هذه الغازات فى مياه البحار بنسب تختلف عن نسب وجودها فى الهواء، فعلى حين يوجد النتروچين فى الجو بنسبة ٧٨٪، فهو يوجد فى ماء البحر بنسبة لا تزيد على ٦٣٪ بالنسبة للغازات الأخرى الذائبة.

ومن المعتقد أن هناك أنواعا خاصة من البكتريا التى تعيش فى الماء، تستخدم هذا الغاز فى صنع بعض مركبات النترات التى تدخل فى تركيب بروتينات الكائنات الحية التى تعيش فى الماء.

أما غاز الأكسچين، فلا تزيد الكمية الذائبة منه فى ماء البحر على ٣٤٪ على الأكثر بالنسبة للغازات الأخرى الذائبة، ويمثل هذا الغاز أهمية خاصة بالنسبة لحياة كل الكائنات الحية التى تعيش فى الماء، فأغلب هذه الكائنات تستطيع أن تستخلص هذا الغاز من الماء بطريقة أو بأخرى، وتستخدمه فى عملياتها الحيوية، فالأسماك تمتص هذا الغاز من الماء المار بخياشيمها وتفعل ذلك أيضا أغلب الكائنات البحرية الأخرى.

ولو أن نسبة غاز الأكسچين الذائب فى الماء انخفضت عن حد معين، أو إذا اختفى هذا الغاز تماما من الماء، لماتت أغلب الكائنات الحية التى تعيش فى الماء، وعادة ما يحدث ذلك إذا قلت نسبة الأكسچين فى مياه البحر عن أربعة أجزاء فى المليون.

أما بالنسبة لغاز ثانى أكسيد الكربون، فإن نسبة الغاز الذائب منه فى مياه البحار والمحيطات تزيد بمقدار خمسين ضعفا على نسبة وجوده فى الهواء، فتصل نسبته فى خليط الغازات الذائبة فى الماء إلى نحو ١,٦ ٪، وهو غاز هام جدا للنباتات البحرية التى تستخدمه فى صنع كثير من المواد العضوية اللازمة لها.

وجود المواد العضوية:

تحتوى مياه البحار والمحيطات كذلك على كثير من المواد العضوية، وهى إما أن تكون ذائبة فى الماء وإما أن تكون عالقة فيه.

وتتكون هذه المواد العضوية على الأغلب من بقايا الكائنات البحرية الميتة، وتزيد نسبة هذه البقايا العضوية المنتشرة فى مياه البحار والمحيطات بمقدار ٣٠٠ مرة على نسبة الكائنات الحية الموجودة بهذه المياه فى أى وقت من الأوقات.

وهناك جزء من هذه المواد العضوية يعتبر من نواتج العمليات الحيوية للكائنات البحرية، ومن أمثلة هذه المواد بعض الفيتامينات وبعض المواد الأخرى ذات الأهمية الخاصة، وعادة ما يؤدى أى تغير فى نسبة هذه المواد فى مياه البحر، إلى حدوث ما يعرف باسم «ظاهرة المد الأحمر» «Red Tide»، وهى تنشأ عن تكاثر أعداد هائلة من بعض الكائنات الدقيقة المعروفة باسم «Dinoflagellates»، وهى تفرز مواد سامة تلون الماء وتتسبب فى قتل الأسماك وأغلب الكائنات الحية الأخرى التى تعيش فى الماء.

وتختلف النسبة التى توجد بها المواد العضوية فى المياه من مكان لآخر، ويعتمد ذلك على عدة عوامل، أهمها الوفرة التى قد توجد بها الكائنات الحية فى جزء من المياه عنها فى جزء آخر، وهى تختلف بذلك عن المواد غير العضوية، مثل الأملاح التى تتوزع بانتظام فى مياه البحار والمحيطات.

درجة حرارة مياه المحيطات:

ترتفع درجة حرارة المياه السطحية للمحيطات فى المناطق الاستوائية عنها فى بقية المناطق الأخرى، ويطلق على هذا الحزام الذى ترتفع فيه درجة حرارة مياه المحيطات اسم «خط الاستواء الحرارى».

ولا ينطبق خط الاستواء الحرارى على «خط الاستواء الجغرافى»؛ لأن مسطحات المياه فى نصف الكرة الأرضية الجنوبى تزيد كثيرا على مسطحات المياه فى نصف الكرة الشمالى، ولذلك يقع خط الاستواء الحرارى إلى الشمال قليلا من خط الاستواء الجغرافى.

وهناك سبب آخر لعدم انطباق خط الاستواء الحرارى على خط الاستواء الجغرافى، وهو أن محيطات نصف الكرة الأرضية الجنوبى، تصلها كميات كبيرة من المياه الباردة الناتجة من انصهار الجليد المتراكم على القارة القطبية الجنوبية.

وبصفة عامة، تتراوح درجة حرارة مياه المحيطات بين درجة الصفر المئوى، أو أقل قليلا، فى المناطق الباردة فى الشمال وفى الجنوب، وبين ٢٨ درجة مئوية عند خط الاستواء الحرارى.



الكثافة:

مياه البحار والمحيطات أكثر كثافة من المياه العذبة الموجودة بالأنهار والبحيرات، لأنها تحتوى على نسبة من الأملاح الذائبة فيها.

ويبلغ الوزن النوعى لمياه المحيطات التى تحتوى على ٣٥ جراما من الأملاح فى اللتر، نحو ١,٠٢٨ عند درجة الصفر المئوى، وتقل هذه الكثافة بارتفاع درجة حرارة الماء، وتزداد بانخفاضها.

ويمكن للإنسان أن يحس بالفرق بين كثافة مياه المحيطات وكثافة مياه الأنهار عندما يسبح فى كل منهما، فيجد أن السباحة أكثر يسرا وسهولة فى مياه البحار، وذلك لأن الأجسام تطفو بنسبة أكبر فى المياه الملحة عنها فى المياه العذبة.

ضغط الماء:

يبلغ الضغط الجوى عند سطح البحر نحو واحد كيلو جرام على السنتيمتر المربع، ولكن هذا الضغط يزداد بزيادة عمق الماء، وتبلغ الزيادة نحو «واحد جو» لكل عشرة أمتار من عمق الماء، فيبلغ الضغط مثلا عند عمق ٥٠ مترا، نحو خمسة «جو» وهى وحدة الضغط الجوى، أى يصل ضغط الماء عند هذا العمق إلى نحو خمس مرات قدر الضغط الجوى، فيصبح نحو خمسة كيلو جرامات على السنتيمتر المربع.

ويصل ضغط الماء إلى حدود هائلة فى أعماق البحار، فيبلغ نحو ١٥٠ «جو» على عمق ١٥٠٠ متر من سطح البحر، أى يصل إلى نحو ١٥٠ كيلو جراما على السنتيمتر المربع، وهو ضغط هائل لا تتحمله إلا الكائنات البحرية المؤهلة أجسامها لذلك.

ولهذا السبب نجد أن الغواصات الحربية لا يسمح لها بأن تغوص فى مياه البحار إلا على عمق محدد لا يجب أن تتعداه، وإلا تهشمت جدرانها تماما تحت هذا الضغط الهائل.

كذلك نجد أن العلماء الذين يحاولون استكشاف أعماق البحار بواسطة بعض الأجهزة الخاصة يبنون هذه الأجهزة بأسلوب خاص حتى تستطيع أن تتحمل هذه الضغوط الهائلة عند الأعماق.



التيارات البحرية:

لا تبقى مياه البحار ساكنة على الدوام، ولكنها دائمة الحركة على هيئة تيارات تنتقل من مكان لآخر بين أجزاء البحار.

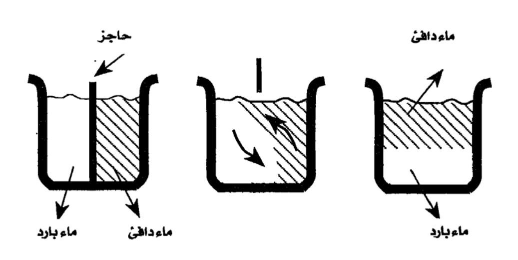
وهناك عدة أسباب لنشأة مثل هذه التيارات البحرية، منها أن كثافة المياه السطحية قد ترتفع قليلا بسبب ارتفاع درجة حرارتها بتأثير أشعة الشمس، وزيادة نسبة التبخر منها، أو بسبب تحول جزء من هذه المياه السطحية إلى جليد فى المناطق الباردة تاركا وراءه مياها أكثر ملوحة وأكثر كثافة مما حولها.

وتبدأ هذه المياه الأكثر كثافة فى النزول من سطح البحر إلى الأعماق، بينما ترتفع المياه الأقل كثافة من الأعماق لتحل محلها على سطح البحر.

وعندما تصل المياه، سواء منها الهابطة أو الصاعدة، إلى منطقة تتساوى فيها كثافتها مع كثافة المياه المحيطة بها، تقف حركة الصعود أو الهبوط، وتبدأ هذه المياه فى التحرك فى الاتجاه الأفقى على هيئة تيار من الماء.

ويمكننا أن نرى علاقة الكثافة بحركة الماء بطريقة عملية من المثال التالى:

نفترض أن لدينا إناء ما مقسما إلى جزءين بواسطة حاجز ثم وضعنا فى أحد أجزاء هذا الإناء ماء باردا، ووضعنا فى الجزء الآخر ماء دافئا به مادة ملونة تمييزا له عن الماء البارد. (شكل ١٣).



تجربة تبين كيف يطفو الماء الدافئ الأقل كثافة
فوق الماء البارد الأكثر كثافة
(شكل ١٣)



سنلاحظ عندما ننزع الحاجز الفاصل بين الماء الدافئ والبارد أنه ستبدأ حركة ما فى داخل الإناء، فالماء البارد الأكثر كثافة يـهبط إلى قاع الإناء، على حين يصعد الماء الدافئ الملـون إلى قمة الإناء، وعندمـا نصل إلى حالة الاتـزان تتكون لدينا طبـقتان، العلوية منهما هى طبقة الماء الدافئ، والسفلية منهما هى طبقة الماء البارد.

وتنشأ التيـارات البحرية نتيجة لـعدة عوامل مثل اختلاف درجـة الحرارة وسرعة التبخـر والفرق فى الكثافة وكذلـك سرعة الرياح، وهى عامل هام جـدا فى حركة هذه التيارات.

وتبدو هـذه التيارات الـمائية علـى سطح الماء فى بـعض الأحيان، وقـد تكون تيارات عميـقة فى بعضها الآخر، وعادة مـا تنقل هذه التيارات فى طريقـها ملايين من أطنان الماء.

وتتحـرك بعض هذه التيـارات البحرية بسـرعة بطيئة، ولـكن بعضهـا الآخر قد يتحرك بسـرعة كبيرة تصل إلى نحـو أربع عقد فى الساعة، أى بسـرعة ١٨٥٠ مترا فى الساعة.

وتسمى بعض التيارات البحرية باسم المناطق التى تمر بها، مثل تيار البرازيل أو تيار شمال الأطلنطى، أو تيار الخليج «Gulf Stream».

وبعض هذه التـيارات تيارات دافـئة، مثل تيـار الخليج الدافئ، وهو لـيس تيارا واحدا، ولكنه يـنشأ عن مجموعـة من التيارات تمتـد من خليج المكسيـك إلى شمال النرويج، وهو يحمل الدفء إلى سواحل أوربا الغـربية، وهناك تيارات أخرى باردة مثل تيار «لبرادور» فى شمال المحيط الأطلنطى.

وهناك كذلك تيارات مـضادة تسرى فى اتجاه يخالف اتجاه التـيارات السطحية، وعادة ما توجد هذه التيـارات المضادة على أعماق مختلفة، ومن أمثلتـها التيار المضاد لتيار الخـليج الدافئ، ويسرى من الشمـال إلى الجنوب فى الجزء الغربى مـن المحيط الأطلنطى.

تيار المد:

عرف الناس تيارات المد منذ قديم الزمان، فقد لاحظوا أن مستوى مياه البحر لا يبقى ثابتا على الدوام، فترتفع المياه فى بعض الأوقات وتنخفض فى بعضها الآخر.

ويحدثنا التاريخ أن أول من وضع تفسيرا مـقبولا لهذه الظاهرة هو العالم الفلكى «جوهانس كبلر» «Johannes Kepler»، فى القرن السادس عشر، وبين أن هذه الظاهرة ترتبط بموضوع كل من الشمس والقمر بالنسبة لسطح البحر.

وقد قام بعد ذلك العالم البريطانى «إسحق نيوتن» «Isaac Newton» بوضع النظرية الحديثة التى تفسر ظاهرة المد والجزر على أساس الجاذبية المتبادلة بين كل من الشمس والقمر وبين الأرض.

ويتأثر الماء بشكل واضح بهذه الجاذبية أكثر من صخور الأرض؛ وذلك لأن الماء جسم مائع سهل الحركة، وعندما يرتفع سطح البحر المواجه للشمس أو القمر، فإن سطح الماء يرتفع ليغطى الشواطئ فى هذه المناطق، ويعرف ذلك بتيار المد، وعندما ينخفض سطح البحر ينسحب الماء عائدا إلى البحر، ويعرف ذلك بالجزر.

ورغم أن كتلة الشمس بالغة الضخامة وتبلغ نحو ٢٨ مليون مرة قدر كتلة القمر، إلا أن قوة جذبها لمياه البحر تقل كثيرا عن قوة جذب القمر لهذه المياه؛ وذلك لبعد الشمس الكبير عن الأرض إذ تبلغ المسافة بينهما ١٥٠ مليون كيلو مترا،بينما يقع القمر قريبا من الأرض على مسافة ٣٨٥٠٠٠ كيلو متر فقط، ويترتب على ذلك أن تصبح قوة جذب الشمس لمياه البحر نحو ٠,٤٦ من قوة جذب القمر لمياه البحر.

والسبب فى حدوث المد والجزر بالتناوب، أن القمر لا يدور حول الأرض فى مدار كامل الاستدارة، بل يدور حولها فى مدار بيضاوى، وبذلك يكون قريبا منها فى بعض الأحيان وبعيدا عنها فى بعض الأحيان الأخرى، ولذلك تزداد قوة جذبه بمقدار ٤٠٪ عندما يكون فى أقرب موقع له من الأرض.

ويتسبب هذا الوضع فى عدم انتظام تيارات المد والجزر فى بعض المواقع على سطح الأرض، ولكن هناك بعض الأماكن التى تكون فيها دورة المد والجزر منتظمة تماما، ففى تاهيتى يحدث المد يوميا عند الظهر وعند منتصف الليل، على حين يحدث الجزر بانتظام عند الساعة السادسة صباحا وعند الساعة السادسة مساء.

ويظهر تأثير تيار المد بوضوح فى بعض الخلجان، وعند بعض الجزر التى تقع وسط المحيط، وتختلف كذلك سرعة تيار المد من مكان لآخر، فهى قد تزداد فى بعض مداخل الأنهار التى تصب مباشرة فى المحيط، وقد تصل سرعتها أحيانا إلى عدة كيلو مترات فى الساعة، ويدخل فيها تيار المد إلى مسافة كبيرة فى داخل مجرى النهر.

ويختلف كذلك ارتفاع موجة المد من مكان لآخر، ويتراوح هذا الارتفاع بين ثلث متر وبين خمسة عشر مترا فى بعض الحالات.

ويمكن مشاهدة موجة المد بوضوح فى بعض الأنهار، كما فى مدخل نهر الأمازون بأمريكا الجنوبية أو فى مدخل نهر «سيفرن» «Severn» بإنجلترا، وكذلك فى مدخل نهر «تسينتانج» «Tsientang» الذى يصب فى بحر الصين.



ويبلغ ارتفاع موجة المد فى هذا النهر الأخير نـحو ثمانية أمتار، وتصل سرعتها إلى نحو عـشرين كيلو مترا فـى الساعة، وهى تسبب صـعوبة كبيرة للمـلاحة فى هذا النهر.

مزارع البحار:

يرى كثير من الناس فى هذه الأيام أن المواد الغذائـية التى يمكن الحصول عليها من البحـار، والتى يمكن تسمـيتها بحاصـلات البحار، هى السبـيل الوحيد لمـجابهة النقص فى الغذاء، وأنها قـد تكون هى وسيلتنا فى المستقبل للحـفاظ على الحياة على سطح كوكـبنا، ومقابلة احتـياجات الإنسان فى أيام الانفـجار السكانى المتـوقع حدوثه على سطح الأرض.

وتقتـضى هذه النظرة الجـديدة للأمور أن تتغـاضى بعض الدول التى تـقع على شاطئ البحـار، عن النظرة الضيقة لمـياهها الساحلية، والتـى تطالب بعض هذه الدول بمدها إلى عشرات الكيلو مترات.

وقد تسببت هذه المطالب فى حدوث كـثير من المشاكل بين بعض الدول، ومن أمثلتها حرب اللانجوست التى نـشبت بين البرازيل وبعض الدول الأخرى عام ١٩٦٣؛ وذلك نتيجة للتنافس الشديد على صيـد جراد البحر، ومنها كذلك الخلاف الذى نشب بين أسبانيا والمغرب عام ١٩٧٢ حول تحديد اتـساع المياه الإقليمية والتى قدرته الرباط بنحو ٧٠ ميلا بحريا، وكذلك عمليات التفتيش التى قامت بها الأكوادور لبعض السفن الأمريكية التى كانت تبعد عن سواحلـها بنحو ٢٠٠ ميل، بدعوى أن هذه السفن كانت تبحر فى مياهها الإقليمية.

ومن الطبيعى أن مثل هذه النزاعات التى تتسم بالنـزعة الإقليمية البحتة ستنعكس آثارها على العمليات الـخاصة باستغلال حاصلات البحار، وربمـا كان المؤتمر الدولى للحقوق البحرية الذى عقد عام ١٩٧٣ تحت إشراف الأمم المتحدة هو أولى الخطوات المطلوب اتخاذها لإصدار تـشريعات دولية تسمح بإقامة مثل هـذه الزراعات المائية فى المستقبل القريب.

ولابد كذلك مـن صدور مجمـوعة من التشريـعات المماثـلة تتعلق بعـدم إلقاء المخلفات فى الـبحار وتمنع تلوث مياه المـحيطات بكثير من العوامل الـتى تهدد حياة الكائنـات الحية تـهديدا خطيـرا، ولابد وأن تتكاتـف وتتعاون كـل الدول لتنفـيذ هذه التشريعات.

والسبب فى التفكير فى الالتجاء إلى مزارع البحار، أنه لا ينتظر أن يزداد الإنتاج الزراعى كثيرا على اليابسة خلال القرن القادم.

وعلى الرغم من أن مساحة الأرض اليابسة تبلغ نحو ٣٠٪ من مساحة سطح الكرة الأرضية، إلا أن الجزء المزروع منها لا يزيد على ٥٪ فقط، ولذلك فمن المتوقع أن يلجأ الإنسان إلى بقية سطح الأرض وهى البحار ليجد فيها الغذاء الكافى الذى يستطيع أن يفى بحاجات الإنسان عند حدوث الانفجار السكانى المتوقع حدوثه فى خلال القرن القادم.

وقد تحقق كثير من النجاح فى هذا المضمار، فنجحت بعض تجارب تربية المحار، وتمكن الباحثون من زيادة كمياتها وأحجامها، كذلك تبين أن بعض أنواع القشريات تستطيع أن تساهم فى هذا المجال، وقد بلغ محصولها فى المحيط الأطلنطى وخليج المكسيك عام ١٩٦٥ نحو ٢٨ مليون دولار، وزادت بذلك على كل ما أمكن صيده من سمك السالمون فى نفس هذا العام.

وقد أجريت بعض التجارب على أنواع محددة من الجمبرى تبين منها أنه يمكن مضاعفة إنتاجه نحو عشر مرات تحت الظروف الطبيعية لمياه المحيط، وحققت بعض هذه التجارب نحو ٢٨ طنا من الجمبرى لكل كيلو متر مربع من مياه المحيط.

كذلك أنتجت بعض هذه التجارب فى الهند نحو ١٢٠ طنا من الجمبرى فى ظرف خمسة أشهر، على حين زاد طول الجمبرى فى اليابان فى تجارب مماثلة من أربعة سنتيمترات إلى نحو ١٢ سنتيمترا عند تربيته فى أحواض خاصة درجة حرارتها نحو ١٠° مئوية.

وتنطبق هذه النتائج الناجحة على الرخويات مثل الحبار أو السبيط، وبخاصة تلك التى يقل طولها عن ٥٠ سنتيمترا.

ويجب ألا ننسى تلك الكائنات الحية والمواد العضوية التى تنتشر فى الماء، والمعروفة باسم «بلانكتون»، وهى تمثل المصدر الرئيسى للمادة العضوية بالنسبة لكل الكائنات الحية التى تعيش فى الماء حتى بالنسبة للكائنات بالغة الضخامة مثل الحيتان، ومن المعتقد أنه قد يمكن مستقبلا أن نستخرج أو نجمع هذه الكائنات الدقيقة التى لا تنتهى كمياتها، وأن نستخدمها مصدرا لغذاء الإنسان.

وهناك أنواع من الطحالب تعتبر مصدرا هاما من مصادر البروتين ويمكن تربيتها والإكثار منها فى مزارع مائية خاصة، واستخدامها كذلك مصدرا لغذاء الإنسان.

وهكذا يتضح لنا أن مياه البحار والمحيطات قد تصبح مستقبلا هى الحقول الطبيعية التى يزرع فيها الإنسان غذاءه وقوت يومه.



الفصل السابع

الثلاجات Glaciers

يتغطى جزء من سطح الأرض فى المناطق الباردة بغطاء من الجليد، وتبلغ مساحة هذا الجزء فى الوقت الحالى بنحو عشر مساحة سطح الأرض، ويتركز أغلب هذا الغطاء الجليدى بصفة خاصة فى منطقة القطبين وفوق سطح جرينلاند فى الشمال.

وفى بعض العصور الماضية، كان الجليد يغطى مساحة أكبر من ذلك من سطح الأرض، فكان الجليد يمتد فوق بعض المناطق ثم يتراجع بعد ذلك عندما ترتفع درجة حرارة الجو.

وقد حدث هذا الامتداد والتراجع نحو أربع مرات فى العصر الچيولوچى المسمى بعصر «البلايستوسين» «Pleistocene»، وهو العصر الچيولوچى الذى يمتد منذ نحو مليون عام مضى، إلى نحو ٨٠٠٠ سنة قبل الميلاد.

وقد سميت الفترات التى تغطت فيها مساحات كبيرة من سطح الأرض بكميات ضخمة من الجليد «بالعصور الجليدية»، وكان يفصل كل عصر جليدى عن الآخر فترة من الجو الدافئ يتراجع فيها الجليد نحو قطبى الأرض.

وقد كانت طبقات الجليد السميكة فى العصر الجليدى تمتد فى اتجاه خط الاستواء لتغطى نحو ثلث مساحة سطح الأرض، وبذلك كانت أجزاء كبيرة من أمريكا الشمالية، ومن أوربا وآسيا تتغطى بطبقات سميكة من الجليد فى هذه العصور، ثم كانت تتراجع بعد ذلك فى اتجاه القطبين، ولم يتبق منها حاليا، ونحن نمر فى فترة من فترات الجو الدافئ الذى يفصل بين عصرين جليديين، إلا غطاء الجليد الواقع فوق القطبين وفوق سطح جرينلاند.

ومن حسن حظ الإنسان أننا نعيش هذه الأيام فى جو دافئ أدى إلى تراجع الجليد نحو القطبين، فقد أعطى ذلك للإنسان مساحات أكبر من سطح الأرض ليعيش فيها وليزاول نشاطاته المختلفة، ؛وذلك لأن تراجع الجليد يساعد على تحسن الأحوال الجوية واعتدال درجة الحرارة.

وهنـاك نوعـان من الـثـلاجـات، يعـرف أحدها بـاسم «الثـلاجـات الجـبلـيـة» «Mountain Glaciers»، ويعرف الآخر منها باسـم «الثلاجات القارية» «Continental Glaciers».

الثلاجات الجبلية:

تتكون الثلاجات الجبلية فوق سفوح الجـبال وقممها، وذلك عندما ترتفع الرياح المحملة ببخار الماء فوق سفوح الجبال، فتبرد ويتحول ما بها من بخار إلى بلورات من الثلج تتساقط على قمم هذه الجبال وسفوحها المائلة.

وتأتى الرياح المحمـلة ببخار الماء دائما من فوق سطح المـحيطات، ولهذا فإن جزءا كبيرا من مياه المحيطات يتحول بهذا الأسلوب إلى جليد يترسب فوق قمم الجبال العالية.

وعندما يزداد سمك طبقات الجليد التى تغطى السفوح المائلة لهذه الجبال، فإن جزءا من هذا الجليد قد ينهار تحت ثقـله، من قمة الجبل إلى الوادى الواقع أسفل هذا الجبل.

ويعرف هذا الانهيار باسم الانهيار الجليدى «Avalanche» وهو يحمل معه فى المعتـاد كثيرا من كتل الـصخور التى يقتلـعها من الجبل وهو فى طـريقه إلى الوادى، ويسمع له عادة دوى هائل فى الأماكن المجاورة.

وعندمـا يتجمـع قدر كاف من هـذا الجليد أسـفل الجبـل، تبدأ الثـلاجات فى التكون. وعندما يصل سـمك طبقة الجليد فى هذه الثلاجة إلـى حد مناسب، تبدأ هذه الثلاجة فى التحرك على هيئة نهر من الجليد.

ويحدث هذا التـحرك عادة عندما يبلغ سـمك الثلاجة نحو ٦٠ مـترا على وجه التقريب، ويستمر هذا التحرك طالما كـان هناك قدر كاف من الجليد الذى يتساقط عند رأس الوادى.

وتختلف السرعة التى تتحرك بها هذه الثلاجات أو الأنهار الجليدية، وبعض هذه الثلاجات يتحرك فى حركات فجائية وتخـتلف سرعتها من ساعة إلى أخرى ومن موقع لآخر.

وقد تتحرك بعض هذه الـثلاجات بسرعة بطيئة جدا لا يزيد مـتوسطها على عدة سنتيمترات فى اليوم الواحد، ولكن هناك ثلاجات أخرى تتحرك بسرعة ملحوظة، ومن أمثلتها ثلاجة «بلاك رابيدز» «Black Rapids» بألاسكا، فهى تتحرك بسرعة تصل إلى نحو ٣٠ مترا فى اليوم.

ويتحرك الجليد الواقع فى منتصف الثلاجة بسرعة أكبر من سرعة الجليد الواقع على جوانبها بسبب احتكاك هذا الجليد الأخير بجدران الوادى الذى تتحرك فيه الثلاجة.

وتعمل الثلاجات أثناء حركتها على طحن صخور الوادى تحت ثقلها، وقد تقتلع فى طريقها كتلا كبيرة من صخور الجبال الملامسة لها، بسبب القوة الكبيرة التى يلتصق بها الجليد مع بعض هذه الصخور.

وتعمل الثلاجات بذلك على تعميق الوديان التى تتحرك فيها وهى التى نحتت مجموعة الخلجان العميقة فى جبال النرويج المعروفة باسم «الفيوردات»، والتى يبلغ عمق بعضها نحو ١٢٠٠ متر.

وعندما تصل هذه الثلاجات إلى منطقة دافئة، يبدأ الجليد فى الانصهار مكونا نهرا طبيعيا من الماء، أو تغذى بحيرة من البحيرات، وتعتبر هذه الثلاجات من أهم المصادر التى تغذى الأنهار بالمياه فى نصف الكرة الأرضية الشمالى.

الثلاجات القارية:

توجد هذه الثلاجات على هيئة غطاء هائل من الجليد فوق سطح الأرض، ومن أمثلتها غطاء الجليد الذى يمتد فوق القارة القطبية الجنوبية، وتصل مساحته إلى نحو ١٢,٥٠٠,٠٠٠ كيلو متر مربع، وكذلك غطاء الجليد الذى يمتد فوق جرينلاند، وتصل مساحته إلى نحو ١,٨٠٠,٠٠٠ كيلو متر مربع.

ويتساقط الثلج فوق هذه الثلاجات القارية على مدار العام، وبمرور الوقت يزداد سمك طبقة الجليد المكون لهذه الثلاجات، ويزداد وزن هذا الجليد، وقد يصل سمك الثلاجة إلى نحو ١٠٠٠ متر أو أكثر.

ويبدأ الجليد المتراكم فى الضغط على ما حوله من مساحات الجليد فتبدأ الثلاجة فى الامتداد فى كل اتجاه، وتتسع بذلك رقعتها بمرور الوقت.

وتؤدى هذه الثلاجات عادة إلى حدوث تغيرات كبيرة فى سطح التربة التى تغطيها، ويظهر ذلك بوضوح فى سطح الأرض فى الأجزاء الشمالية من القارة الأمريكية، وفى كل من أوربا وآسيا، وهى الأجزاء التى كانت تغطيها الثلاجات القارية فى العصور الجليدية فى أثناء عصر البلايستوسين.

وتبدو مثل هذه التغيرات بشكل واضح فى بعض أجزاء الجزر البريطانية، فقد كان سطح الأرض فيها مغطى فيما مضى بطبقات سميكة من الجليد أثناء العصور

الجليدية القديـمة، ولذلك نجد أن أغلب جبال هذه الجزر لم تعـد لها قمم بارزة، بل أصبحت قـممها مستديرة نـتيجة لتآكل هذه القـمم تحت طبقات الجليد الـمكونة لهذه الثلاجات.

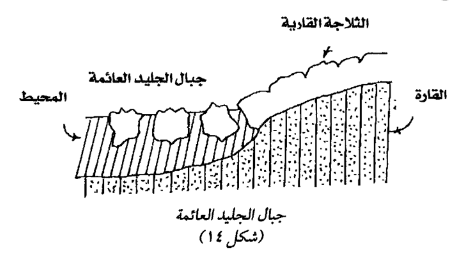
كذلك نـلاحظ أن أغلب الوديان الـواقعة بيـن الجبال فـى وسط وشمال الـجزر البريطانية قد امتلئت بالمياه، وتحولت إلـى بحيرات نتيجة لذوبان هذه الثلاجات عندما صار الجو دافئا.

وتؤثر كل من الثلاجات الجبلية، والثلاجات القارية على مستوى سطح الماء فى البحـار والمحيـطات؛ وذلك لأن الجليـد الذى تتكون منه هـذه الثلاجات قـد نتج عن تجمد بخار الماء الذى حملته الرياح من مياه المحيطات.

ويعنى ذلك أن زيادة كمية الجليد فى هذه الثلاجات يؤدى إلى نقص مقابل له فى مياه المـحيطات. ومن المعتـقد أن سطح الماء فى المـحيطات خلال العصـر الجليدى الأخير، كان يقل عن مـستوى سطح الماء الحالى فى هذه المحـيطات بنحو ٧٥ مترا، وبذلك كانت مساحة شواطئ القارات أكبر مما هى عليه الآن بكثير.

ولو أن كل الجليـد المكون للثلاجات الحالـية قد انصهر لسـبب من الأسباب، لأدى ذلك إلى ارتفاع مستوى سـطح البحار والمحيطات بنسبة كبـيرة قد تصل إلى نحو ٤٥ مترا على الأقل، ولا شك أن هـذا سيؤدى إلى إغراق مساحات كبـيرة من شواطئ القارات، وإلى غرق المدن الساحلية فى الماء.

وتتحـرك الثلاجات الـقارية فى جمـيع الاتجاهات، وعنـدما تصل الثـلاجة إلى شاطئ البحـر، تنفصل منها بعض الكتل الكـبيرة وتسقط فى مياه البـحر، وتعرف هذه الكتل باسم «جبـال الجليد» «Ice Berg»، وهى تختلف فى أشكالهـا وفى أحجامها، وقد يبلغ طول هذه الكتل العائمة عدة كيلو مترات (شكل ١٤).



جبال الجليد العائمة
(شكل ١٤)



ونظرا لأن حجم الجليد أكبر من حجم الماء الذى تكون منه، فإن كثافة جبال الجليد تكون أقل من كثافة الماء المحيط بها، ولهذا نجد أن هذه الجبال تطفو فوق سطح الماء إلى حد ما، ومع ذلك فإن ما يظهر من جبل الجليد لا يزيد على ١٠ - ٢٠ ٪ من حجمه، بينما يختفى نحو ٨٠ - ٩٠ ٪ من حجمه تحت سطح الماء.

ويعنى ذلك أنه لكل ثلاثة أمتار من جبل الجليد التى تطفو فوق سطح الماء، يقابلها نحو ٢٥ - ٣٠ مترا أو أكثر من هذا الجليد مختفية تحت سطح الماء.

وهناك بعض الجبال الجليدية الضخمة التى يصل ارتفاعها عن سطح الماء إلى نحو ٩٠ مترا، ويعنى هذا أن قاع مثل هذا الجبال يمتد على عمق نحو ٩٠٠ - ١٠٠٠ متر تحت سطح البحر، وتوجد مثل هذه الجبال الهائلة فى المناطق القطبية من المحيطات.

وتمثل هذه الجبال الجليدية العائمة خطرا داهما على الملاحة فى المحيطات، خاصة فى الأجزاء الشمالية من المحيط الأطلنطى التى تنتشر بها خطوط الملاحة بين أوربا وأمريكا، وعلى وجه الخصوص فى أشهر أبريل ومايو ويونيو وهى الشهور التى يكثر فيها انفصال كتل الجليد من الثلاجات القارية فى الدائرة القطبية الشمالية.

ومن أشهر حوادث هذه الجبال الجليدية العائمة، حادث السفينة الكبيرة وعابرة المحيطات «تيتانك» «Titanic»، فقد ارتطمت هذه السفينة وهى فى أولى رحلاتها فى المحيط الأطلنطى بأحد الجبال الجليدية الضخمة فى أبريل عام ١٩١٢، وغرقت فى الحال، وفقد فى هذا الحادث نحو ١٥٠٠ شخص من ركاب هذه السفينة.

وتقل خطورة هذه الجبال الجليدية العائمة كثيرا اليوم عن ذى قبل؛ وذلك لأنه يتم متابعتها بالرادار من السفن والطائرات، وكذلك بواسطة الأقمار الصناعية.

وعادة ما تنصهر جبال الجليد العائمة فى شمال المحيط الأطلنطى تدريجيا فى أثناء رحلتها إلى الجنوب، ويحدث ذلك فى أغلب الأحوال بعد أن تترك هذه الجبال المياه المقابلة لنيوفاوندلاند حيث تصبح مياه المحيط أكثر دفئا.

وهناك كتل أخرى من الجليد العائم تعرف باسم «جزر الجليد» وهى عبارة عن كتل ضخمة مسطحة من الجليد تنفصل أحيانا من الكتلة الرئيسية للجليد التى تغطى أحد قطبى الأرض، وبخاصة من كتلة الجليد فى المنطقة القطبية الجنوبية.

وتبلغ مساحة هذه الجزر الجليدية حدا هائلا، فقد يصل طول بعضها إلى نحو ١٥٠ - ٣٠٠ من الكيلو مترات، ولا ينصهر الجليد المكون لهذه الجزر بسهولة، ولذلك فهى تعيش طويلا ولا تتحرك من مكانها بل تبقى عادة فى المنطقة القطبية على الدوام، ولذلك تستعمل بعض هذه الجزر أحيانا كمحطات للبعثات الاستكشافية القطبية.



الفصل الثامن

المياه الجوفية

لا يقتصر وجود الماء على البحار والمحيطات، أو الأنهار والبحيرات، أو فى الثلاجات الجليدية، ولكن هناك قدرا كبيرا من الماء يوجد مختفيا تحت سطح الأرض فى كثير من الأماكن، ويملأ شقوق الصخور، وينتشر فى مسام التربة، ويطلق على هذه المياه اسم «المياه الجوفية».

وتتصل هذه المياه الجوفية فى بعض الأحيان بالمياه السطحية، فقد تظهر هذه المياه على هيئة برك صغيرة أو متوسطة الحجم، وقد تغذى كثيرا من المجارى المائية والجداول الطبيعية.

وقد عرف الناس المياه الجوفية منذ قديم الزمان، وحفروا لها الآبار، واتخذوها مصدرا من مصادر المياه العذبة، ولكنهم لم يستطيعوا أن يجدوا تفسيرا مناسبا لوجود هذه المياه فى باطن الأرض، كما لم يستطيعوا أن يفهموا الكيفية التى تخرج بها هذه المياه فى بعض الأحيان على هيئة نافورات من الماء أو البخار.

وكان الاعتقاد السائد أن المياه الجوفية ما هى إلا جزء من مياه البحار تسرب إلى باطن الأرض عن طريق بعض الشقوق أو الشروخ الموجودة بالصخور تحت مستوى سطح البحر، ثم تجمعت هذه المياه تحت الوديان والجبال.

وعلى الرغم من أن مياه البحار والمحيطات مياه مالحة، بينما أغلب المياه الجوفية مياه عذبة، إلا أن هذا الاختلاف فى طبيعة المياه لم يثن المؤيدين لهذا الاعتقاد عن اعتقادهم، بل كانوا يرون أن مياه البحار تفقد جزءا كبيرا مما بها من أملاح فى أثناء سريانها فى مسام التربة وفى باطن الأرض، وتتحول بذلك إلى مياه عذبة.

وقد تغير هذا الاعتقاد بعد ذلك عندما وضّح اثنان من الباحثين الفرنسيين فى القرن السابع عشر، وهما «بير بيرول» «Pierre Perrault» «وإيدم ماريوت» «Edame Mariotte» أن سقوط الأمطار على سطح الأرض هو واحد من أهم مصادر المياه الجوفية المتجمعة تحت سطح الأرض.

وعلى الرغم من أن مياه الأمطار والمياه الناتجة من انصهار جليد الثلاجات هى المصادر الرئيسية للمياه الجوفية فى كثير من المناطق، إلا أن هناك مصادر أخرى لهذه المياه تختلف من مكان لآخر.

وأحد هذه المصادر قد يكون ناتجا عن تحول الرواسب التى تتجمع فى قيعان البحار والمحيطات إلى صخور، فهذه الرواسب تحتوى مسامها على كثير من المياه، وعندما تتحول هذه الرواسب إلى صخور، يظل هذا الماء محتجزا فى مسامها مكونا بعض المياه الجوفية.

ويساهم كذلك بخار الماء المتصاعد من باطن الأرض فى تزويد جزء من المياه الجوفية، ومع ذلك فإن الجزء الأكبر من المياه الجوفية يتكون عن طريق الأمطار وانصهار الجليد.

وتعتمد كمية المياه التى تتسرب من سطح التربة إلى باطنها على عدة عوامل، أهمها المعدل الذى تتساقط به مياه الأمطار على سطح التربة؛ وذلك لأنه عند سقوط المطر الغزير تصبح التربة مشبعة تماما بالماء، وتمتلئ كل مسامها بالماء.

كذلك يعتمد وجود المياه الجوفية على نوعية الصخور المكونة للتربة، فكلما زادت مسامية هذه الصخور ساعد ذلك على دخول المياه إلى جوف الأرض.

وأغلب الصخور المكونة لتربة الأرض بها مسام من نوع ما، وحتى صخور الجرانيت الصلبة بها قدر صغير من المسام يصل إلى نحو ١ ٪ من حجمها، وترتفع نسبة المسام بشكل كبير فى بعض الحالات الأخرى، وقد تصل إلى نحو ٤٠ ٪ فى تجمعات الحصى والرمال.

ويؤثر تركيب التربة عادة على نفاذ المياه من سطح التربة إلى باطن الأرض، فالتربة ذات الحبيبات الكبيرة، تكون هناك مسافات بينية كبيرة تفصل بين حبيباتها، وبذلك تصبح هذه التربة أكثر نفاذية بالنسبة للماء، أما التربة التى تتكون من خليط من الحبيات الكبيرة والحبيبات الصغيرة فتصبح أقل نفاذية؛ وذلك لأن الحبيبات الصغيرة تسد المسافات البينية الواقعة بين الحبيبات الكبيرة، وتمنع مرور الماء فيها.

كذلك يؤثر وجود الطَّفْل فى التربة على نفاذية الماء، فعند سقوط الأمطار على التربة الطفلية تتشبع هذه التربة بالماء وتصبح تربة غير منفذة؛ وذلك لأن مسام الطفل مسام دقيقة جدا، وعندما تلتصق جزيئات الماء بسطح حبيبات الطفل الدقيقة، وهى الخاصية المعروفة بالامتزاز، يتوقف مرور الماء فى هذه المسام.

وهناك عوامل أخرى تؤثر بشكل غير مباشر فى نفاذ الماء من سطح التربة إلى باطنها، فعند وجود غطاء كثيف من النباتات على سطح التربة، كما فى الغابات، تمنع هذه النباتات ماء المطر من الاندفاع فوق سطح التربة، وتقوم باحتجاز قدر كبير من الماء فيما بينها، ويظل هذا الماء متجمعا فوق سطح التربة مدة طويلة، ويمكن له أن يتسرب فيما بعد إلى باطن الأرض.

كذلك تؤثر كل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية الموجودة بالهواء، على دخول المياه السطحية إلى باطن الأرض، فإذا كان الجو رطبا بدرجة كافية، ودرجة الحرارة معتدلة، فإن مياه الأمطار لن تتبخر بسرعة من سطح الأرض، وتزداد بذلك فرصة هذه المياه فى النفاذ إلى باطن الأرض.

أما إذا كان الجو جافا ودرجة الحرارة مرتفعة نسبيا، فإن مياه الأمطار المتساقطة على سطح التربة سوف تتبخر سريعا قبل أن تجد فرصتها فى النفاذ إلى باطن الأرض.

وتحدث هذه الظاهرة الأخيرة عادة فى المناطق الجرداء أو فى المناطق الصحراوية، فأغلب مياه الأمطار التى تسقط على سطح التربة فى هذه المناطق تعود إلى الجو مرة أخرى عن طريق التبخر، حيث تكون السرعة التى يتبخر بها الماء أكبر من السرعة التى ينفذ بها الماء فى مسام التربة.

وعندما تدخل المياه السطحية إلى جوف الأرض، تستمر فى التسرب فى مسام التربة حتى تصل التربة إلى حالة من التشبع، تكون فيها كل مسام التربة قد امتلئت بالماء.

وقد تمتد طبقة الماء التى تملأ مسام الصخور فى باطن الأرض إلى مسافات كبيرة تصل إلى عدة كيلو مترات، ويختلف فيها بعد سطح هذه الطبقة عن سطح الأرض من مكان لآخر، فسطح المياه الجوفية لا يكون مستويا كسطح الماء فى الأنهار والبحار، ولكنه قد يقترب من سطح الأرض فى مكان، ويبتعد عنه فى مكان آخر، وذلك تبعا لطبيعة الأرض التى توجد بها هذه المياه.

ويعرف سطح طبقة المياه الجوفية باسم مستوى الماء الجوفى «Water Table»، وقد يبدو لنا هذا السطح إذا كان قريبا من سطح الأرض عندما نحفر لإقامة بعض المبانى أو المنشآت، ولكن أغلب المياه الجوفية تكون على عمق أكبر من ذلك.

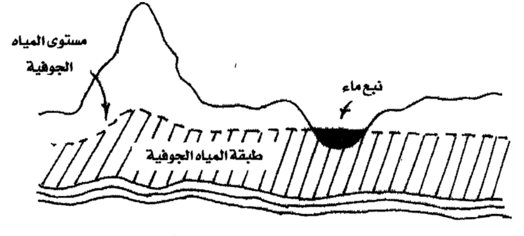
ولا يزيد عمق طبقة المياه الجوفية على ١٠٠ متر تحت سطح الأرض ولكنها قد تصل إلى عمق ١٠٠٠ متر فى بعض الأحيان عندما يكون عمق الطبقات المسامية



كبيرا، وهى حالات نادرة لأن زيادة العمق تؤدى إلى زيادة الضغط على الصخور مما يقلل كثيرا من مسامية هذه الصخور.

وتتأثر درجة حرارة المياه الجوفية القريبة من سطح الأرض بدرجة حرارة الجو السائدة فوق هذا السطح، وكلما زاد عمق طبقة هذه المياه زادت درجة حرارتها بنسبة تصل إلى درجة مئوية واحدة لكل ٢٥ مترا زيادة فى العمق.

وقد تتجمد طبقة المياه الجوفية فى بعض الأحيان فى المناطق الباردة، ويحدث ذلك فى ألاسكا وفى الدائرة القطبية، حتى ولو كان عمق هذه الطبقة ١٠٠ متر أو أكثر، ولكن ذلك لا يستمر على الدوام، فعند اقتراب فصل الصيف فى بعض هذه المناطق، يعود سطح طبقة المياه الجوفية إلى الانصهار.



مستوى سطح المياه الجوفية تحت الجبل قد يكون أعلى من مستواها تحت الوادى

وعندما يتقاطع مستوى المياه الجوفية مع سطح الأرض، تخرج المياه الجوفية إلى السطح مكونة نبعا أو جدولا تجرى فيه هذه المياه فوق سطح الأرض.

وتبدو المياه الخارجة من سطح الأرض فى بعض الأحيان وكأنها تغلى رغم أن درجة حرارتها تقل بكثير عن درجة غليان الماء. والسبب فى ذلك أن المياه المندفعة من باطن الأرض قد تحرك طبقات الرمال الناعمة التى تغطى قاع النبع الذى تخرج منه المياه، فتبدو وكأنها تغلى.

وقد تخرج المياه الجوفية فى بعض الأحيان من مكان أو من عين تقع تحت مستوى سطح البحر، أو تخرج من مكان مجاور لقاع المحيط، ومن أمثلة ذلك النبع الذى يخرج ماءه من باطن الأرض فى قاع البحر فى خليج بالقرب من اليونان يدعى

خليج «أرجوليس» «Argolis»، ويبلغ من قوة اندفاع المياه الجوفية من هذا النبع، أن سطح البحر فوق هذا النبع يبدو مقوسا إلى أعلى فى بروز طفيف.

الينابيع الساخنة:

وقد تخرج المياه الجوفية من باطن الأرض على هيئة ينابيع ساخنة؛ وذلك لأن هذه المياه قد تغوص إلى أعماق كبيرة فى باطن الأرض، فترتفع درجة حرارتها وتتحول إلى بخار.

وقد قام الكيميائى الألمانى «روبرت ولهلم بنزن» «Robert Wilhelm Bunsen» فى القرن التاسع عشر بتفسير الطريقة التى تنشأ بها الينابيع الحارة على أساس أن درجة غليان الماء تعتمد على الضغط الواقع على هذا الماء، فتزيد درجة غليانه بزيادة الضغط وتقل بقلته.

وتنص هذه النظرية على أن المياه الجوفية عندما تلامس الصخور الساخنة فى باطن الأرض، ترتفع درجة حرارتها إلى حدود كبيرة، ولكنها لا تغلى ولا تتحول إلى بخار بسبب ارتفاع الضغط الواقع عليها فى هذا العمق.

وعندما تقابل هذه المياه شقا رأسيا فى قشرة الأرض، تندفع بسرعة كبيرة صاعدة إلى سطح الأرض، وكلما صعدت المياه الساخنة نحو سطح الأرض، قل الضغط الواقع عليها حتى تصل إلى سطح الأرض حيث الضغط يساوى واحد «جو» فقط فتتحول إلى بخار يندفع فى الجو على هيئة نافورة حارة.

وعندما تكون درجة الحرارة ليست مرتفعة بدرجة كافية فى مكمن الماء تحت سطح الأرض، فإن جزءا من هذا الماء فقط قد يتحول إلى بخار عند صعوده إلى سطح الأرض، بينما تتبقى بقية المياه على هيئة ماء ساخن مصاحب للبخار.

ومن أمثلة هذه الينابيع الساخنة تلك النافورة الضخمة الموجودة فى «يلوستون» «Yellowstone» بالولايات المتحدة والتى يتصاعد منها عمود من البخار والماء الساخن يصل ارتفاعه إلى نحو ثلاثين مترا، ويرتفع الرذاذ المتناثر إلى نحو ٧٥ مترا من سطح الأرض.

كذلك توجد بعض هذه النافورات فى حقل طبيعى للبخار فى ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة يدعى «الينابيع الساخنة» «Hot Springs».

وتنتشر هذه الينابيع الساخنة فى أيسلنده، وبها نافورات يندفع منها الماء والبخار إلى ارتفاع ٤٥ مترا من سطح الأرض، كما توجد مثل هذه النافورات الساخنة فى أماكن أخرى كثيرة مثل إيطاليا واليابان والاتحاد السوفيتى ونيوزيلندا.

وعادة ما تخرج المياه الجوفية أو البخار من هذه الينابيع على هيئة تيار مستمر، ولكن هناك بعض الينابيع التى تخرج منها المياه على دفعات منتظمة تفصل بين كل منها فترة سكون ينقطع فيها تيار الماء.

وهناك أيضا ينابيع أخرى تخرج منها بعض الأصوات الهادرة فى فترة السكون، ثم تندفع منها المياه الجوفية بقوة هائلة، وقد يصل ارتفاع عمود المياه إلى نحو ١٠٠ متر من سطح الأرض.

نسبة الأملاح الكلية فى المياه الجوفية:

تحتوى المياه الجوفية على نسبة من الأملاح الذائبة فيها، وعادة ما تكون هذه النسبة أعلى من نسبة الأملاح فى مياه الأمطار أو فى مياه الأنهار والبحيرات.

وتتراوح نسبة الأملاح الكلية الذائبة فى المياه الجوفية بين ٢٠٠ - ٣٠٠ جزء فى المليون، وهى نسبة معقولة ولا تمثل خطرا على الصحة عند استعمالها فى الشرب.

وقد ترتفع نسبة الأملاح الكلية الذائبة فى بعض المياه الجوفية وتصل إلى نحو ٤٠٠٠ جزء فى المليون أو أكثر من ذلك، وتصبح المياه الجوفية فى هذه الحالة غير صالحة للشرب، وتعرف باسم «الماء المسوس» «Brackish Water».

وتحتوى بعض المياه الجوفية على بعض مركبات السليكا،وخاصة مياه الينابيع الساخنة، ولذلك تترسب طبقات من القشور اللامعة متغيرة الألوان حول هذه الينابيع بعد تبخر المياه الحاملة لها.

وقد تحتوى المياه الجوفية على أنواع أخرى من الشوائب الغريبة، فبعض الينابيع الموجودة بنيوزيلندا يخرج منها الماء الموحل فى لون الحبر الأسود، ويندفع منها هذا الماء إلى ارتفاعات كبيرة من سطح الأرض.

وقد كانت ينابيع المياه الجوفية من أهم مصادر مياه الشرب فى العهود الماضية، قبل أن يتعلم الإنسان طرق تنقية المياه وتوزيعها، ومازالت بعض هذه الينابيع الطبيعية مستعملة حتى اليوم للاستفادة مما بها من أملاح فى العلاج الطبى، سواء عن طريق الشرب أو عن طريق الاستحمام.

ومن أمثلة هذه الينابيع ما يوجد منها فى بلدة «بادن بادن» «Baden - Baden» بألمانيا، وينابيع «سيدلكانى» «Sedlcany» بتشيكوسلوفاكيا، و«لوشون ـ باريج» «Luchon Bareges» بفرنسا، «ويالم سبرنجز» «Palm Springs» بالولايات المتحدة.



وتحتوى مياه بعض هذه الينابيع على أملاح كبريتات الصوديوم والمغنسيوم، وهى تعمل كمواد طاردة، ويتم تعبئتها فى زجاجات للشرب تحت اسم المياه المعدنية، ومن أمثلتها «مياه فيشى» وغيرها، ويفضل بعض الناس شرب هذه المياه المعدنية على شرب المياه العادية.

وتوجد أنواع أخرى من الينابيع التى تحتوى مياهها على الكبريت، مثل عين حلوان الكبريتية، وينابيع الكبريت فى «بانف» «Banff» بألبرتا بالولايات المتحدة، «وينابيع الراديوم الساخنة» «Radium Hot Springs» فى كولومبيا البريطانية.

المياه الجوفية كعامل تعرية:

تعمل المياه الجوفية كعاملٍ تعرية فى باطن الأرض؛ وذلك لأن هذه المياه قد تذيب قدرا من غاز ثانى أكسيد الكربون من الجو الذى يكوِّن مع الماء حمضا غير عضوى يعرف باسم حمض الكربونيك.

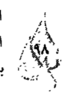
وعلى الرغم من أن حمض الكربونيك حمض ضعيف، إلا أنه يستطيع أن يحدث بعض التغيرات فى تربة الأرض، فهو يساعد على ذوبان الصخور الجيرية، وذلك بتحويل ما بها من مركبات الكربونات عديمة الذوبان إلى مركبات البيكربونات سهلة الذوبان فى الماء.

وتستطيع المياه الجوفية بهذا الأسلوب أن تذيب كميات هائلة من مثل هذه الصخورِ فى باطن الأرض، وينشأ عن ذلك تكون كثير من الفجوات تحت سطح التربة قد تتحول إلى مغارات هائلة الحجم فى أعماق الأرض.

وتساعد المياه الجوفية على إذابة بعض المواد التى تربط حبيبات الرمل المكونة للصخور الرملية الصلبة، فتحولها بذلك إلى حبيبات مفردة من الرمال وإلى كثبان رملية تتحرك من مكان لآخر.

وفى بعض الأحيان تهاجم المياه الجوفية بعض الصخور النارية مثل صخور الجرانيت، فتذيب ما بها من مركبات الحديد مما يؤدى إلى تفكك هذه الصخور على المدى الطويل.

وقد تترسب بعض المواد التى تحملها المياه الجوفية أثناء سريانها فى مسام التربة. وعندما تترسب منها مركبات الحديد أو الكلسيت، أو السليكا، فى مسام طبقات الرمال، فإنها تساعد على التصاق حبيبات الرمال وفتات الصخور معا، وقد يتحول بعض هذا الفتات إلى نوعٍ من الصخور الرسوبية الجديدة بمرور الوقت، وقد تؤدى



عملية الترسيب هذه إذا زادت عن حدها إلى سد مسام بعض الصخور المسامية وتقلل بذلك من نفاذيتها.

وكثيرا ما تترسب بعض الأملاح التى تحملها المياه الجوفية على أرضية المغارات التى تقع تحت الأرض وعلى جدرانها، ويحدث ذلك عادة عندما تكون المياه الجوفية مشبعة بمادة بيكربونات الكالسيوم.

وعندما يتبخر جزء من المياه الحاملة لهذه المادة، تترسب منها كربونات الكالسيوم داخل هذه المغارات، على الأسقف والأرضيات والجدران، ويظهر هذا الترسيب عادة على هيئة نتوءات وأعمدة متعددة الأشكال.

وتعرف أعمدة كربونات الكالسيوم المتدلية من أسقف المغارات باسم «استلاكتيت» «Stalactite»، أما الأعمدة المقابلة لها والصاعدة من أرضية المغارات فتعرف باسم «استلاجميت» «Stalagmite».

وفى بعض الأحيان تصاحب عملية ترسيب الأملاح، عملية أخرى تعرف باسم الإحلال، وتحل فى هذه العملية بعض المواد الذائبة في المياه الجوفية محل بعض المواد الأخرى.

ومن أمثلة هذه العملية عمليات الإحلال التى تحدث أحيانا فى جذوع بعض أشجار الغابات المدفونة تحت سطح التربة، فتبدأ المادة الخشبية الموجودة بهذه الأشجار فى الذوبان تدريجيا فى المياه الجوفية، وتحل محلها بعض مركبات السليكا الذائبة فى هذه المياه، وبعد مرور زمن طويل تتحول جذوع هذه الأشجار إلى كتل متحجرة تشبه الجذوع الأصلية تمام الشبه، وتعرف عندئذ مجموعة هذه الأشجار باسم الغابة المتحجرة.

وتظهر بعض هذه الغابات المتحجرة أحيانا على سطح الأرض، عند انخفاض مستوى المياه الجوفية أو بتأثير بعض عوامل التعرية الأخرى وتبدو عندئذ للعيان. ومن أمثلة هذه الظاهرة الغابة المتحجرة فى جبل المقطم شرق القاهرة، والغابة المتحجرة فى أريزونا بالولايات المتحدة.

وعندما تتبخر المياه الجوفية بعد صعودها إلى سطح الأرض، تترك وراءها كثيرا من الرواسب، ويمكن مشاهدة هذه الرواسب حول بعض ينابيع المياه الجوفية، وغالبا ما تكون هذه الرواسب من كربونات الكالسيوم، ولكنها قد تحتوى كذلك على بعض المواد الأخرى مثل الجص والكبريت وبعض مركبات السليكا والحديد.



استخدام المياه الجوفية فى الشرب:

تستخدم المياه الجوفية قليلة الأملاح فى الشرب فى كثير من المناطق التى لا تتوافر بها المياه العذبة الواردة من الأنهار أو البحيرات، أو فى الأماكن التى تحتاج فيها مياه الأنهار إلى تعزيز.

ويتم الحصول على المياه الجوفية إما من الينابيع الطبيعية التى تتدفق منها المياه الجوفية، وإما بحفر الآبار التى تصل إلى مستوى هذه المياه فى باطن الأرض، والطريقة الثانية هى الطريقة التى تستعمل غالبا، لأنه لا توجد ينابيع طبيعية بالوفرة المطلوبة.

وعادة ما يتم حفر هذه الآبار بطريقة الدق، أو بطريقة التخريم بجهاز حفر دوار يشبه حفار البترول.

ويتم حفر الآبار بجهاز الحفر الدوار عندما تكون المياه الجوفية على عمق كبير نسبيا تحت سطح الأرض، وتستعمل فى هذا الجهاز لقمة حفر خاصة يعتمد نوعها على نوع التربة وصلابة صخورها، كما تستخدم فى الحفر طينة خاصة تعرف باسم «طينة الحفر»، وهى طينة ذات لزوجة خاصة تساعد على تبريد لقمة الحفر أثناء دورانها فى الأرض كما تساعد على إخراج فتات الحفر.

وعادة ما تبطن هذه الآبار بأنابيب خاصة، ويوضع فى قاعها شبكة ضيقة الفتحات لتصفية الماء من الحصى والرمال.

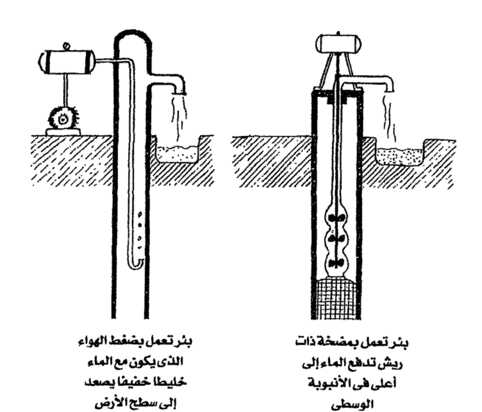
وهناك آبار تعمل بمضخات ذات «ريش» تدفع المياه من باطن البئر إلى أعلى، وآبار أخرى تعمل بدفع الهواء (شكل ١٥)، وهذه الأخيرة هى أفضل الآبار؛ لأنها لا تحتوى على أجزاء متحركة، ولذلك يسهل صيانتها، كما أن الهواء يساعد على تهوية ماء البئر بصفة مستمرة، ولكن كفاءة مثل هذه الآبار قليلة إلى حد ما.

وهناك أنواع أخرى من الآبار التى تعمل بمضخات ماصة ـ كابسة، ولكن قدرة هذه المضخات محدودة، فهى لا تستطيع أن ترفع المياه من أعماق تزيد على عشرة أمتار تحت سطح الأرض.

وتستعمل مياه هذه الآبار فى كثير من الأغراض المنزلية، وفى بعض الأغراض الصناعية، وكذلك فى رى الأراضى الزراعية.

وتستعمل عادة هذه الآبار بحرص شديد، فلا تسحب منها المياه الجوفية إلا على فترات، وقد لايزيد ما يسحب من بعض هذه الآبار على عشرة لترات من الماء أو أكثر قليلا، فى الدقيقة الواحدة، وذلك للحفاظ على مستوى المياه الجوفية فى البئر ثابتا على الدوام.





بعض أنوع الآبار المستعملة فى رفع المياه الجوفية
شكل (١٥)

وهناك بعـض الآبار التى تعطـى قدرا هائلا من الـماء كل يوم دون أن ينـخفض سطح المـياه الجوفـية فيهـا. ومن أمثلة هذه الآبـار أحد آبار الميـاه الجوفيـة فى جزر هاواى، فتسحب منه المياه بكميـات هائلة تصل إلى نحو ١٠٠,٠٠٠ لتر فى الدقيقة، أى نحو ١٥٠ مليون لتر من الماء فى اليوم دون أن يتـغير مستوى الماء الجوفى فى هذا البئر.

وهناك مدن كاملة تعتـمد فى كل نشاطاتها على المياه الجـوفية، ومن أمثلة هذه المدن مـدينة برلين بألمـانيا، بينمـا تعتمد مـدن أخرى على الميـاه الجوفية فـى تعزيز احتياجاتها من المـاء، مثل مدينة نيويورك بالولايات المتحدة، فهى تـعتمد جزئيا على المياه الجوفية المستخرجة من بعض الآبار الموجودة بجزيرة لونج أيلاند.

وتستعمل المياه الجوفية فى الهند لرى ملايين الهكتارات من الأراضى الزراعية، كمـا تـستعمـل هذه الميـاه فى رى الأراضى فـى كاليـفورنيـا وبعض ولايات الـغرب الأمريكى.



المياه الجوفية فى جمهورية مصر العربية:

تبين من بعض الدراسات التى أجريت على أماكن متفرقة من سيناء والصحراء الشرقية والصحراء الغربية، أن هناك خزانات للمياه الجوفية فى بعض الأماكن يبلغ سمكها بين ١٠ - ١٥٠ مترا تحت سطح الأرض، وأن بعض هذه الخزانات يبلغ سمكها فى بعض مناطق الصحراء الغربية نحو ٤٠٠ متر.

وتوجد بعض هذه المياه الجوفية تحت ضغط داخلى طبيعى يجعلها تتدفق على سطح الأرض على هيئة عيون طبيعية كما فى بعض واحات الصحراء الغربية، مثل الفرافرة والبحرية وسيوه وواحات الوادى الجديد وشرق العوينات.

ويجرى حاليا عمل خريطة تفصيلية للمياه الجوفية بجمهورية مصر العربية بواسطة معهد بحوث المياه الجوفية التابع لوزارة الأشغال، ويقدر المخزون من المياه الجوفية تحت سطح الأرض فى الصحراء الغربية بنحو ٤٠٠ مليار متر مكعب.

وهناك خلاف حول طبيعة هذه المياه، فيعتقد البعض أن هذه المياه متجددة وأن سحب كميات محسوبة منها لن يؤثر على الكميات المخزونة منها، بينما يعتقد البعض الآخر أن هذه المياه الجوفية غير متجددة، وأنها موجودة فى باطن الأرض منذ نحو ٣٠ ألف عام وتجمعت فى أثناء العصور الممطرة التى مرت على مصر فى الزمن القديم.

ويمكن استغلال هذه المياه الجوفية الموجودة بالصحراء الغربية فى زراعة الأرض، ويكفى استغلال نحو ٣ مليار متر مكعب منها لزراعة نحو ٤٠٠ - ٥٠٠ فدان فى هذه الصحراء لمدة تصل إلى ١٠٠ عام على الأقل، بفرض أن هذه المياه غير متجددة.

وتتضمن خطة الزراعة المقترحة، زراعة نحو ١٤٣٠٠٠ فدان بالوادى الجديد، تم زراعة حوالى ٤٣٠٠٠ فدان منها حاليا، ثم زراعة نحو ١٨٩٠٠٠ فدان فى منطقة شرق العوينات، مع توزيع بقية الأرض المقدر زراعتها على مناطق سيوه والساحل الشمالى وبعض مناطق بحيرة ناصر.

وهناك خزان جوفى آخر فى وادى النيل، وهو خزان متجدد يتغذى من مياه الرى ومن مياه النيل ومياه الترع، ويمكن استغلال نحو ٥ مليار متر مكعب سنويا من هذا الخزان بدون السحب من المياه المخزونة،أى دون أن تتأثر الكمية المخزونة من المياه الجوفية، والتى تقدر بنحو ٤٠٠ مليار متر مكعب فى كل الوادى.

ويتطلب استغلال نحو ٥ مليار متر مكعب من هذه المياه الجوفية حفر نحو ٣٠٠٠ بئر تبلغ تكلفتها نحو ٦٠٠ مليون جنيه.



وقد تبين من بعض الدراسات الأولية التى أجريت على الصحراء الشرقية، أن المياه الجوفية الموجودة بها محدودة إلى حد كبير، ومع ذلك فإن الأمر يتطلب استغلال هذه المياه لخدمة أعمال استخراج البترول وأعمال التعدين ولتوفير المياه العذبة للقرى السياحية التى بدأت بالانتشار فيها.

وتقدر كمية المياه الجوفية التى يمكن استخراجها لخدمة هذه الأغراض بنحو ٢٠٠ مليون متر مكعب.

والمياه الجوفية قليلة كذلك فى سيناء، وأغلب هذه المياه نتجت عن تجمع الأمطار وتسربها داخل الرمال، وبخاصة فى المناطق الشمالية من سيناء، وتستخدم هذه المياه حاليا فى رى بعض الأراضى الزراعية، ويبدو أن سحب المياه من الخزان الجوفى فى هذه المناطق قد زاد عن معدل تغذية هذا الخزان بمياه الأمطار، وقد أدى ذلك إلى زيادة نسبة ملوحة بعض الآبار، ومثال ذلك أن نسبة الملوحة فى بعض آبار العريش وصلت إلى نحو ٦٠٠٠ جزء فى المليون فى الوقت الحالى.

وهناك خزان آخر للمياه الجوفية بجنوب سيناء فى منطقة سهل القاع، وقد يصل سمكه إلى نحو ٣٠٠ متر، وتكفى المياه الموجودة بهذا الخزان لتوفير مياه الشرب لسكان مدينة الطور وشرم الشيخ وبعض مياه الرى لقطاعات صغيرة من المساحات المزروعة.

أما بالنسبة للمياه الجوفية العميقة الموجودة بسيناء فهى توجد على عمق كبير من سطح الأرض يصل إلى نحو ٦٠٠ متر وإلى ١٥٠٠ متر فى بعض الأحيان، وهى مياه قديمة وغير متجددة.

وما زال هناك كثير من الدراسات التى تجرى على المياه الجوفية فى جمهورية مصر العربية، ويستخدم فى هذه الدراسات أحدث ما توصل إليه العلم، مثل صور الفضاء التى التقطها مكوك الفضاء الأمريكى تشالنجر قبل انفجاره وهى صور رادارية ظهرت فيها الوديان القديمة التى كانت تجرى بها السيول منذ نحو ٩٠٠٠ عام.



الباب الثالث

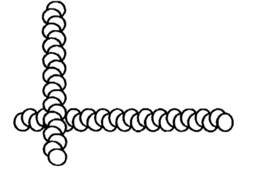
تنقية الماء وتحليته

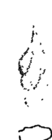
الفصل التاسع

تنقية الماء

الفصل العاشر

تحلية الماء





الفصل التاسع

تنقية المياه

يندر أن توجد المياه النقية فى الطبيعة؛ وذلك لأن الماء مذيب جيد لأغلب المواد.

وتحتوى المياه الطبيعية فى أغلب الأحوال على بعض الأملاح الذائبة فيها، وتصل نسبة هذه الأملاح الذائبة فى بعض الأحيان إلى نحو ٤٠ جزءا فى الألف، كما فى مياه البحار والمحيطات، وقد تقل عن ذلك كما فى مياه الأنهار والبحيرات التى تتغذى من مياه الأمطار أو من الثلاجات ولكنها قد تحتوى على بعض الشوائب الأخرى.

ونظرا للأهمية البالغة للماء بالنسبة لكل الكائنات الحية، التى لا تستطيع أن تحيا بدون المياه العذبة، فإنه يجب الاهتمام بتنقية هذه المياه، وخاصة المياه التى تستخدم فى أغراض الشرب وتحضير الطعام.

وقد تحدث بعض عمليات التنقية بطريقة تلقائية فى الطبيعة، فإذا افترضنا أن هذه المياه كانت تحتوى على بعض المواد العضوية، فإن هذه المواد عادة ما يتم تخفيفها كثيرا فى أثناء جريان المياه فى الأنهار، وذلك بواسطة مياه الأمطار أو بواسطة المياه الناتجة من انصهار الجليد، وهذه المياه الأخيرة عادة ما تكون خالية تماما من المواد العضوية، فيضيع بذلك الأثر السام لهذه المواد.

كذلك قد يتأكسد جزء من هذه المواد العضوية بواسطة أكسچين الجو الذائب فى الماء، وعادة ما يحدث ذلك فى أثناء حركة المياه فى المجرى أو فى أثناء اندفاع المياه حول صخور الجنادل، أو عند سقوطها فى الشلالات.

وقد يترسب جزء من المواد العالقة فى المياه الطبيعية عندما تكون ساكنة، أو إذا كانت حركتها بطيئة إلى حد ما كما فى مياه البحيرات، وقد تساعد بعض الكائنات البحرية مثل الأسماك فى هذه العمليات، فهى عادة ما تتغذى على الطحالب المنتشرة فى الماء، وبذلك تخلص المياه الطبيعية فى بعض الحالات من كثير من المواد العالقة بها.

أما بالنسبة للمياه الجوفية، فهى عادة ما تخلو من المواد العضوية لبعدها عن سطح الأرض، كما أنها تخلو أيضا من المواد العالقة حيث يتم ترشيحها فى أثناء حركتها فى الطبقات المسامية للتربة.

ولا يكتفى عادة بمثل هذه الطرق الطبيعية لتنقية المياه، إلا فى الحالات التى تكون فيها جداول المياه الطبيعية منعزلة تماما، ،وبعيدة كل البعد عن كل مصادر التلوث، وهى حالات نادرة لا نجدها، إلا فى بعض الجداول الموجودة ببعض المناطق غير المطروقة أو على سفوح الجبال.

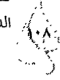
وبصفة عامة لا يمكن الاعتماد على مثل هذه الطرق الطبيعية لتنقية الماء، وخاصة عندما تكون المياه مطلوبة للشرب ولطهو الطعام، فيجب عندئذ أن تكون خالية تماما من كل أنواع البكتريا والطفيليات، كما يجب أن تكون خالية من الأملاح الذائبة التى قد تضر بصحة الإنسان، أو تعطى للمياه رائحة كريهة أو طعما غير مستساغ.

كذلك يجب أن تخلو المياه المطلوبة لعمليات التنظيف والغسيل من بعض الأملاح المعدنية التى تسبب عسر الماء وتمنع تكوّن رغوة للصابون، وبخاصة أملاح الكالسيوم والمغنسيوم، ويجب تحويل هذه المياه إلى مياه يسرة تسمح بتكوين رغوة مناسبة مع الصابون.

ويجب الاهتمام أيضا بنوعية المياه المستخدمة فى الصناعة، فهى تمثل عاملا هاما وتدخل فى كثير من خطوات التصنيع، ويكفى أن نعلم أن طن الحديد يحتاج لصناعته إلى نحو ٨٠ طنا من الماء، ويحتاج إلى نحو ١٩٠ طنا من الماء لتحويله إلى مواد مصنعة.

ويجب أن تخلو المياه المستخدمة فى الصناعة من الأملاح قبل استعمالها فى عمليات التبريد أو الإذابة أو الغسيل، فهذه الأملاح تسبب على المدى الطويل تآكل الأنابيب وأوعية التفاعل، كما تؤدى إلى ترسيب بعض القشور على الأسطح الداخلية للغلايات والصهاريج، وكثيرا ما يؤدى مثل هذا الترسيب إلى انسداد الأنابيب أو انفجار المراجل.

وهناك نوعيات خاصة من العمليات الصناعية تحتاج إلى استعمال مياه عالية النقاوة، مثل عمليات التحليل فى المعامل وعمليات الطلاء بالكهرباء وبعض عمليات تصنيع الدواء أو الأصباغ، وبخاصة تلك العمليات التى يكون فيها الماء أحد المواد الداخلة فى التفاعل.



وقد عرف الإنسان طرق تنقية المياه منذ زمن بعيد، فقد قام المصريون القدماء وكذلك أهل الصين باستعمال مواد خاصة فى تنقية المياه المستخدمة فى الشرب، ومن المعتقد أن المصريين القدماء استعملوا الشب [كبريتات الألومنيوم والبوتاسيوم] لترسيب المواد العالقة فى مياه النيل.

كذلك يعتقد أن سكان الهند القدامى استخدموا الفحم النباتى فى ترشيح المياه بعد تعريضها لضوء الشمس مدة من الزمان.

وتستعمل حاليا بعض الطرق الحديثة لتنقية المياه فى المدن، وهى تتكون من عدة عمليات متتابعة مثل الترشيح والتهوية والترويق والترسيب والكَلْوَرة، أى المعالجة بالكلور، وغيرها.

ولا يمكن استعمال مياه البحار والمحيطات فى أغراض الشرب أو فى رى الأراضى الزراعية؛ وذلك لاحتواء مياه البحار والمحيطات على نسبة واضحة من الأملاح الذائبة فيها، ولذلك تعتبر هذه المياه ضارة بالصحة كما أنها تفسد التربة الزراعية وتزيد من ملوحتها.

وتعتبر مياه الأمطار هى المصدر الرئيسى للمياه العذبة الصالحة للشرب أو لأعمال الرى، وهى تتجمع عادة إما فى البحيرات وإما تجرى فى الأنهار، ويتغلغل جزء منها فى مسام التربة مكونا المياه الجوفية.

وبصفة عامة، فإننا عندما نحتاج إلى المياه العذبة فإننا نأخذها من مصدرين رئيسين، **أحدهما** هو المياه السطحية الممثلة فى الأنهار أو البحيرات، **وثانيهما** المياه الجوفية التى تستخرج عن طريق حفر الآبار.

مياه الشرب:

لا تصلح كل مياه عذبة للشرب أو للاستعمال الآدمى، ولكن ذلك يتطلب أن تكون هذه المياه على مستوى خاص من النقاوة، وأن تكون خالية تماما من كل أنواع الميكروبات ومن المواد العضوية والأملاح وغيرها من المواد الذائبة فيها.

ويحمل الماء الجارى على سطح الأرض فى المعتاد كثيرا من الأملاح الذائبة فيه مثل النترات والكلوريدات والكبريتات والكربونات لبعض الفلزات الشائعة مثل الصوديوم والكالسيوم والحديد والمنجنيز، كما يحمل بين طياته كثيرا من المواد العالقة مثل فتات الصخور والطمى وبعض فروع النباتات والأعشاب وبعض الكائنات الدقيقة مثل البكتريا والطحالب وغيرها.

كذلك قد تحتوى المياه السطحية على بعض المواد العضوية الناتجة من تحلل بعض الكائنات الحية، أو تحتوى على بعض المخلفات الصناعية والمنظفات الصناعية كما قد يوجد بها آثار من بعض المبيدات أو المخصبات الزراعية.

ويتم تقسيم الشوائب الموجودة بالماء عادة إلى قسمين رئيسيين هما: مواد ذائبة ومواد عالقة، ويمكن التخلص من المواد العالقة بالماء بطرق بسيطة ولكن التخلص من المواد الذائبة فى الماء يمثل صعوبة كبرى فى أغلب الأحيان.

وتختلف نسبة المواد المعدنية أو الأملاح الذائبة فى الماء حسب طبيعة المصدر، فالمياه السطحية قد تحتوى على قدر منها لا يزيد على ٣٠ مليجرام فى اللتر وخاصة عندما يكون مجرى النهر فى منطقة صخرية، بينما قد تصل هذه النسبة إلى ٣٠٠ أو ٥٠٠ مليجرام فى اللتر فى بعض المياه الجوفية.

وهناك ثلاثة أخطار قد تنشأ عن استخدام مياه غير نقية فى أغراض الشرب أهمها:

١ ـ الإصابة ببعض الأمراض نتيجة لوجود بعض أنواع البكتريا أو الفيروسات فى الماء.

٢ ـ الإصابة بالتسمم نتيجة لاحتواء المياه على تركيزات عالية من بعض المواد الذائبة، مثل أملاح النترات أو الفوسفات، أو أملاح بعض الفلزات الثقيلة مثل الزئبق والرصاص وغيرها.

٣ ـ وجود بعض المواد المسرطنة (المسببة للسرطان) مثل بعض المخلفات التى تلقيها الصناعات الكيميائية فى الماء، أو وجود بعض المواد المشعة فى الماء.

ويصعب اكتشاف المواد من النوع الثالث، كما أنه يصعب التخلص من أخطارها وذلك لتعدد أنواعها وتباين تأثير كل منها على الإنسان، فهناك عديد من المبيدات الحشرية المتنوعة التى تستعمل اليوم بعضها من نوع مركبات الهالوچين العضوية، وبعضها الآخر من مركبات الفوسفور العضوية أو من مركبات الكربامات، كما أن هناك أنواعا متعددة من مبيدات الأعشاب ومن مبيدات الفطريات التى تسبب كثيرا من الأخطار للإنسان عند وصولها إلى مياه الشرب.

ومن الممكن التخلص إلى حد ما من أكثر هذه المواد بمعاملة المياه المحتوية عليها بغاز الأوزون وبامتصاصها بواسطة الفحم المنشط بشرط ألا تزيد الكمية الأصلية الموجودة منها فى الماء عن حد معين.

ويفضل أن تكون المياه المستخدمة فى الشرب خالية تماما من مثل هذه المواد، لأنه حتى بعد تنقية المياه بغاز الأوزون، فإنه تتبقى بها بعض المواد العضوية البسيطة

الناتجة من تحلل هذه المبيدات قد تساعد على المدى الطويل على نمو بعض الكائنات الحية الدقيقة فى هذه المياه، وبخاصة فى الـمياه المختزنة التى تترك فى الخزانات مدة طويلة.

كذلك قد تؤدى معاملة المياه بالشب لتنقيتها إلى بقاء جزء من الألومنيوم الذائب فى هذه المياه، وقد ثبت حاليا أن وجود الألومنيـوم فى مياه الشرب غير مستحب على الإطلاق، وقد يسبب ذلك الإصابة بمرض «الألزهايمر» «Alzheimer»، ولذلك يجب العناية التامة بتحـليل مياه الشرب قبل توزيعها على الناس للـتأكد من خلوها من كل ما يسبب الضرر للإنسان.

وقد قامت كثير من الدول بوضع مواصفات خاصة لمياه الشرب والمياه الصالحة للاستخدام الآدمـى، تم فيها تحديد الحـد الأعلى لوجود الأملاح بأنواعها والـمبيدات والمواد العـضوية والفلزات الـثقيلة وغيـرها وهى المواد التـى يسبب وجودها فـى مياه الشرب كثيرا من الأضرار للإنسان.

كذلك قامت هـيئة الصحة العـالمية [WHO] بوضع مواصـفات خاصة لـمياه الشرب يمكن الاقتداء بها فى كل دول العالم.

ويبين الجدول التالى المواصفات القياسية لمياه الشرب المعمول بها فى كثير من البلدان الأوربية:

المواصفات القياسية لمياه الشرب

المادة	الوحدة مج / لتر	المادة	الوحدة مج / لتر
ثانى اكسيد الكربون	٢٠	كادميوم	٠٫٠٠٥
كلور حر	١	كروم	٠٫٠٥٠
كلوريدات	٢٥٠	زئبق	٠٫٠٠١
كبريتات	٢٥٠	نيكل	٠٫٠٥٠
نترات	٥٠	رصاص	٠٫٠٥٠
نتريتات	٠٫١	انتيمون	٠٫٠١٠
كربونات	١٥٠	فضة	٠٫٠١٠
فلوريدات	١٫٥	زرنيخ	٠٫٠٥٠
سيانيدات	٠٫٠٥	فوسفور	٥
نشادر	٠٫٥	سلنيوم	٠٫٠١٠
مغنسيوم	٥٠	مركبات عضوية حلقية	٠٫٠٠٠٢
صوديوم	١٥٠	مواد هدروكربونية ذائبة	٠٫٠١٠
بوتاسيوم	١٢	فينولات	٠٫٠٠١
الومنيوم	٠٫٢	منظفات صناعية	٠٫٢٠٠
حديد	٠٫٢	الدرين وديلدرين	٠٫٠٠٠٠٣
منجنيز	٥٠	لندان	٠٫٠٠٠٠١
نحاس	١	بى ٠ سى ٠ بى	٠٫٠٠٠٥
زنك	٥		



ولا تنطبق هذه المواصفات على مياه الشرب فى جميع بلاد العالم، فهناك دول لا تتوافر فى بعض أجزائها مياه الشرب النقية، كما أن هناك دولا أخرى يستخدم سكانها مياها للشرب تقل مواصفاتها عن هذه المواصفات، وقد تزيد نسبة الأملاح بها على الحدود القصوى المذكورة فى الجدول السابق.

وتشعر كل الدول اليوم بأهمية توفير الماء العذب لاستخدامه فى أغراض الشرب وفى أعمال الرى، وقد عقد مؤتمر دولى بهذا الخصوص فى «ماردیل بلاتا» « Mardel Plata» بالأرجنتين فى المدة من ١٤ - ٢٥ مارس ١٩٧٧ نوقشت فيه جميع المسائل المتعلقة بتوفير المياه العذبة على مستوى العالم، واعتبرت السنوات العشر التالية لعقد هذا المؤتمر من ١٩٨٠ - ١٩٩٠ على أنها «العقد الدولى لمياه الشرب وتنقيتها».

ويعتقد كثيرون أن العالم سيشهد أزمة حقيقية فى مياه الشرب فى بداية القرن القادم، وقد قدم فى هذا الشأن إلى هيئة الأمم تقريرا من خبيرين سوفيتيين هما «فالنتين كورزون» «valentin Korzoun» و«أليكسى سوكولوف» «Alexi Sokolov» وتوقع هذان الخبيران أن تحدث هذه الأزمة عام ٢٠١٥.

ولا شك أن النقص المتوقع حدوثه فى الكميات المتاحة من الماء العذب سيؤثر تأثيرا كبيرا على حياة جميع الكائنات الحية بما فيها الإنسان، كما سيصيب أعمال الزراعة والرى بضرر بالغ لا يمكن تلافيه؛ ولذلك نجد أن هناك كثيرا من الدول قد بدأت فى إعداد برامج خاصة تدعو إلى اقتصاد سكانها فى استعمال مياه الشرب وعدم استخدامها فى بعض الأغراض الأخرى مثل غسل السيارات أو رى الحدائق وما إلى ذلك.



تنقية المياه السطحية

تتكون المياه السطحية من مياه الأنهار والبحيرات، وهى عادة ما تكون متوسطة النقاوة وتصلح لاستخدامها فى تحضير مياه الشرب، ولكنها قد تتعرض فى بعض الأحيان إلى ظروف خاصة تؤدى إلى تلوثها وتجعلها غير صالحة للاستعمال الآدمى، وإن كان ذلك قد لا يؤثر على استعمالها فى رى الأراضى الزراعية.

وقد يحدث هذا التلوث عندما تختلط هذه المياه السطحية ببعض مياه الصرف الصحى أو بمياه الصرف الزراعية التى قد تحمل معها بعض المبيدات أو المخصبات الزراعية، أو عندما تلقى فيها بعض مخلفات المصانع التى تحتوى على كثير من المواد الكيميائية ذات التأثير الضار على صحة الإنسان.

كذلك قد تحتوى المياه السطحية على بعض المواد العضوية الناتجة من تحلل أجسام بعض النباتات أو الحيوانات، كما قد تحتوى على بعض أنواع البكتريا، ولذلك يجب الاهتمام الشديد باختيار المصدر المائى لمياه الشرب بحيث يكون مأخذ المياه بعيدا كل البعد عن هذه الملوثات.

وحتى عندما يكون مأخذ المياه بعيدا عن كل هذه المواد الملوثة، فإنه يجب أن تكون المياه خالية تماما من كل أنواع البكتريا والجراثيم، ويجب التخلص منها تماما قبل استعمال هذه المياه فى أغراض الشرب تجنبا لانتشار الأمراض.

ويعتبر القائمون على تنقية المياه أن خلو المياه من البكتريا المعروفة باسم «إشيريشيا كولاى» «Escherichia Coli» يعد دليلا على خلو المياه من كل أنواع البكتريا الأخرى، ولذلك فهم يبحثون دائما عن وجود هذه البكتريا قبل بدء التنقية وبعد انتهائها.

وبكتريا «إشيريشيا كولاى» شديدة الانتشار، وهى توجد دائما مصاحبة لفضلات الإنسان والحيوان، وعادة ما يعنى وجود هذه البكتريا فى الماء أن هناك أنواعا أخرى من البكتريا الضارة فى هذه المياه، ولذلك يجب التخلص من هذه البكتريا تماما، وعند القضاء عليها يتم التخلص من بقية أنواع البكتريا الأخرى فى نفس الوقت.

وتحتوى المياه السطحية أيضا على أنواع مختلفة من الطحالب ومن بعض النباتات، وتنتشر هذه الأنواع بصفة خاصة فى مياه البحيرات وفى المياه المخزونة أمام السدود فى مجرى الأنهار.

والطحالب نباتات دقيقة الحجم، وهى لا تعيش طويلا، وعلى الرغم من أنها تساعد على زيادة نسبة غاز الأكسجين الذائب فى الماء، كما أنها تستهلك جزءا مما

بالماء من غاز ثانى أكسيد الكربون، إلا أنها عندما تموت تتحلل أجسادها وتعطى للماء طعما غير مستساغ، وهى تمثل عادة مشكلة كبرى فى عملية تنقية الماء.

ويتم مكافحة هذه الطحالب باستعمال بعض المواد الكيميائية التى تقضى عليها، مثل كبريتات النحاس، ونظرا لأن مثل هذه المواد الكيميائية سامة التأثير، فيجب الاحتياط الشديد عند استعمالها بحيث لا تزيد نسبتها فى الماء على حد معين لا تتعداه.

وتوضع كبريتات النحاس فى أكياس خاصة من القماش، ثم تدلى فى الماء وتجرها القوارب خلفها، وتدور بها حول البحيرة أو الخزان كل مدة من الزمان، وتؤدى هذه العملية إلى توقف نمو هذه الطحالب ومنع تكاثرها بشكل يصعب معه التخلص منها.

وهناك طرق أخرى لمقاومة نمو الطحالب فى الخزانات الصغيرة،منها تغطية الخزان بطريقة أو بأخرى لمنع وصول ضوء الشمس إلى هذه الطحالب الذى يساعد على تكاثرها.

كذلك يمكن مقاومة نمو الطحالب فى مياه الخزانات بتعليق مسحوق الفحم فى هذه المياه مما يؤدى إلى تلون المياه بلون أسود يمنع وصول ضوء الشمس إلى هذه الطحالب فتموت.

وتبدأ عادة أولى خطوات تنقية المياه بترشيحها مما يعلق بها من شوائب ومواد عالقة.

الترشيح:

بدأت أولى عمليات التنقية الحقيقية على نطاق واسع عندما ابتكرت طريقة الترشيح البطىء بواسطة الرمال.

وقد ابتكر هذه الطريقة «جيمس سمبسون» «James Simpson» بإنجلترا عام ١٨٢٩، ثم تطورت هذه الطريقة بعد ذلك إلى ما يسمى بطريقة الترشيح السريع.

وتساعد عمليات الترشيح على إزالة كل المواد العالقة بالماء مثل الطحالب والأعشاب وغيرها من الشوائب، وقد تصلح كذلك للتخلص من البكتريا الموجودة بالماء فى بعض الحالات.

وتستخدم الرمال الناعمة والحصى فى عمليات الترشيح، فيتم إدخال المياه فى أحواض كبيرة توجد بها طبقات من الرمال ذات مواصفات خاصة ويصل سمك الطبقة



إلى نحو ٩٠ سنتيمترا، وبعد أن تمر المياه بهذه الطبقة، تمر بعد ذلك فى طبقة أخرى من الحصى.

وتحتجز أغلب المواد العالقة بالماء فى الطبقات العليا من طبقة الرمال، وتتكون منها أول الأمر طبقة من الخبث تساعد فى عملية الترشيح، ولكنها تزداد سمكا بمرور الوقت وتسد مسام الرمال فتقلل من سرعة عملية الترشيح، ولهذا السبب يجب إزالة هذه الطبقة من آن لآخر.

وتتصف عملية الترشيح بأنها عملية متوسطة الكفاءة، ويمكن عن طريقها ترشيح كميات لا بأس بها قد تصل إلى نحو ٢٠ إلى ٤٠ مليون لترا من الماء لكل هكتار من طبقة الترشيح، وهى كميات متوسطة من الماء تتناسب مع استهلاك بعض المدن الصغيرة.

وتقل كفاءة عملية الترشيح كثيرا عند زيادة نسبة المواد العالقة فى الماء على ١٠٠ جزء فى المليون، وأحد عيوب هذه العملية يتعلق بإزالة طبقة الخبث والرواسب التى تتكون على قمة طبقة الرمل، فهى تتم على الأغلب بطريقة يدوية بطيئة، وتستخدم فى ذلك بعض الأدوات البدائية مثل الجاروف أو ما يماثله.

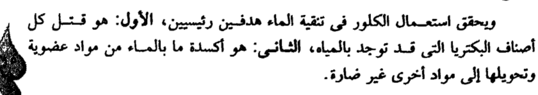
وتأخذ بعض محطات المياه بطريقة الترسيب، فيتم إدخال المياه فى أحواض خاصة لترسيب كل ما بها من مواد عالقة أو رواسب تحت ثقل وزنها، أى بتأثير جاذبية الأرض.

وتتوقف كفاءة الترسيب على عدة عوامل، منها طبيعة المواد العالقة فى الماء، ومنها السرعة التى تدخل بها المياه فى أحواض الترسيب، والمدة التى تترك فيها المياه فى هذه الأحواض.

معاملة المياه بغاز الكلور:

تتم فى هذه العملية معاملة المياه التى سبق ترشيحها، بكمية محسوبة من غاز الكلور، وهى تعتبر من أهم مراحل تنقية المياه.

وغاز الكلور مثل غاز الأكسجين، فهو عامل مؤكسد قوى، يستطيع أن يؤكسد وأن يتفاعل مع كثير من المواد العضوية وغير العضوية، ويكون معها مركبات متعددة الأنواع.



ويحقق استعمال الكلور فى تنقية الماء هدفين رئيسيين، **الأول**: هو قتل كل أصناف البكتريا التى قد توجد بالمياه، **الثانى**: هو أكسدة ما بالماء من مواد عضوية وتحويلها إلى مواد أخرى غير ضارة.

وتحتـوى أغلب المياه السـطحية على قـدر ما من المواد العـضوية؛ وذلك لأن سطح هـذه المياه فـى الأنهار والبـحيرات يكـون مكشوفـا ومعرضـا لأنواع كثيـرة من الملوثات.

وتنشأ أغلب هذه الـمواد العضوية نتيجة لـتعفن بقايا الأعشاب المـائية أو خلايا الطحـالب أو بعض أوراق الأشـجار وبقـايا الأسماك، كـما أن بعـضا من هذه الـمواد العضوية قد ينشأ عن تلوث المياه ببعض فضلات الإنسان أو الحيوان.

ويضـاف غاز الـكلور إلى الـماء مـن أجهـزة خاصـة تسـمى بأجـهزة الكـلورة «Chlorinators»، ويمكن عـن طريقها الـتحكم فى نسـبة الكلور الـمضافة إلـى الماء (شكل ١٦).

ويراعى دائما ألا تزيـد نسبة الكلور المضـافة إلى الماء على حد مـعين، وتقوم الهيئات الصحية فى البلاد بتحديد هذه الكـمية، وهى تعتمد على نوع المياه وما بها من مواد عضوية وغيرها.

وقد يؤدى استعمـال الكلور فى تنقية المياه إلى ظهور طـعم غريب فى الماء فى بعض الأحيان، ولـكن هذا الطعم الغريب لا علاقـة له بغاز الكلور فى حقـيقة الأمر، ولكنه ينشأ من بقـايا المواد العضوية المعاملـة بالكلور والتى تتغير طبيـعتها تحت هذه الظروف.

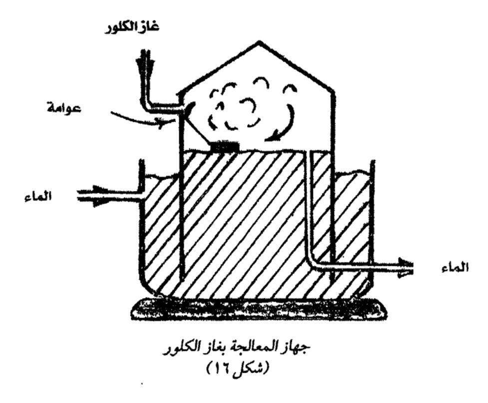
ويمكن التخلص من هذه الرائحة الغريبـة أو الطعم الغريب، إما بزيادة نسبة غاز الكلور المضاف إلى الماء قليلا ما، وإما بتهوية المياه، أى بخلطها بالهواء أو بإمرار تيار من الهواء فيها.

وتتم تهوية المياه بعدة طرق، منها أن تترك المـياه لتتساقط على مصاطب خاصة مثل الـدرج، أو ترش المياه مـن فتحات خـاصة على هـيئة رذاذ، أو برش المـاء على طبقات من الفحم المنشط لامتصاص كل ما به من طعم أو رائحة غير مرغوب فيها.

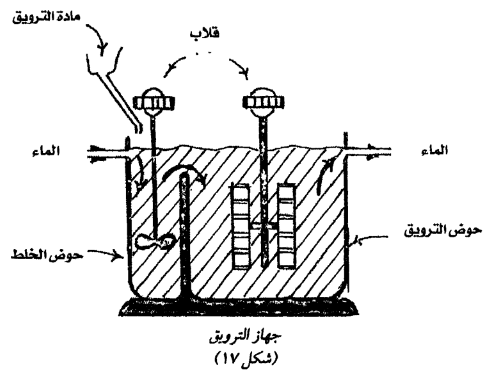
وتساعد تهوية الماء عـلى أكسدة بقايا المواد العضوية بأكسجـين الهواء وتحويلها إلى منتجات لا طعم لها ولا رائحة.

الترويق:

تتضمن هذه الخطوة تحويل بعض المواد الـغروانية العالقة بالماء والتى لا ترسب وحدها بسهولة إلى رواسب كالندف «Floc»، يمكن التخلص منها بعد ذلك، ويصبح الماء الناتج رائقا.



جهاز المعالجة بغاز الكلور
(شكل ١٦)



جهاز الترويق
(شكل ١٧)



وتحتوى أغلب المياه السطحية، مثل مياه الأنهار والبحيرات، على بعض هذه المواد الغروانية، وعادة ما تتكون هذه المواد من جسيمات متناهية فى الصغر لا ترى بالعين المجردة، ولكنها مع ذلك تسبب تعكير المياه.

وتحمل الجسيمات الغروانية على سطوحها شحنة كهربائية فى المعتاد، وهذه الشحنة هى التى تجعلها تتنافر بعضها مع بعض، فلا تتجمع وتبقى معلقة فى المحلول.

وعند معادلة الشحنة التى تحملها هذه الجسيمات تبدأ فى التجمع معا وتنفصل من المحلول على هيئة راسب يسهل التخلص منه.

ويتم ترسيب هذه الجسيمات الغروانية بإضافة بعض المواد الكيميائية التى تتأين فى الماء، وتعطى أيونات ذات شحنة مخالفة لشحنة الجسيمات الغروانية، وتستطيع بذلك أن تعادل شحنة هذه الجسيمات التى تبدأ عندئذ في التجمع متحولة إلى حبيبات أكبر ثم إلى راسب ينفصل من المحلول.

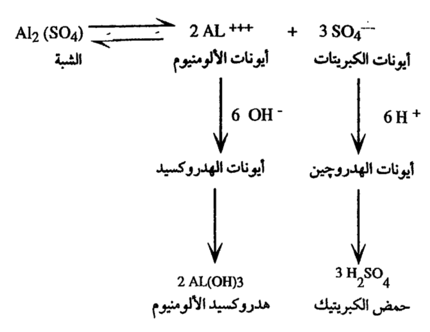
ويمكن استخدام كثير من المواد الكيميائية فى هذا الغرض، ولكن أقل هذه المواد تكلفة وأكثرها استعمالا هى مادة كبريتات الألومنيوم التى نعرفها عادة باسم «الشب» أو «الشبة»، كما يمكن استعمال كلوريد الحديديك لنفس الغرض.

وتستعمل الشبة فى ترويق الماء فى جمهورية مصر العربية وذلك على هيئة محلول يتراوح تركيزه بين ٥ - ١٠ ٪، على ألا تزيد النسبة الكلية للشبة فى الماء على مليجرام مكافئ واحد لكل لتر من الماء.

وعند انتهاء عملية الترويق بالشبة نجد أن الماء الرائق قد أصبح حمضيا، لأن كبريتات الألومنيوم عندما تتأين فى الماء تعطى نوعين من الأيونات، أيونات الألومنيوم الموجبة، وأيونات الكبريتات السالبة.

وتتفاعل أيونات الألومنيوم الموجبة مع أيونات الهدروكسيد الناتجة فى الماء لتعطى هدروكسيد الألومنيوم، بينما تتفاعل أيونات الكبريتات السالبة مع أيونات الهدروچين مكونة حمض الكبريتيك كما يلى:





وعند مقارنة المادتين الناتجتين من هـذا التفاعل، نجد أن هدروكسيد الألومنيوم عبارة عن قاعدة ضعيفة، على حين أن حمض الكبريتيك عبارة عن حمض قوى، ولهذا السبب يكون الماء الناتج من عملية الترويق حمضى التأثير.

وعندما تكون المـياه المستعملة قلوية الـتأثير إلى حد ما، فإن قلويتـها قد تعادل تأثير هذا الحمض، وإلا احتاج الأمر إلى إضافة مادة قلوية من الخارج حتى يصير الماء الناتج متعادلا.

وعندما تـكون هناك حاجة لاستـعمال مادة قلويـة، فإن الجير يضـاف إلى الماء لتحويل حمض الكبـريتيك الناتج إلى مادة كبريتات الكالسـيوم التى لا تذوب فى الماء ويمكن التخلص منها بعد ذلك بالترشيح.

وتتم عملية التـرويق فى جهاز كالمبين فى (شكل ١٧) فتـدخل المياه فى حوض جانبى حـيث تمزج جيـدا بمحلول المادة الـكيميائـية، ثم تنقل بعـد ذلك إلى حوض الترويق، وهناك يتم تقليبها لمدة زمنية معلومة حتى يتم تجمع الجسيمات الغروانية على هيئة ندف.



ويسحب الماء من حوض الترويق من أنبوبة عند سطح الحوض لإدخاله فى حوض الترسيب.

وقد تمزج المادة الكيميائية المستعملة فى الترويق ببعض الفحم المنشط فى بعض الأحيان؛ وذلك لامتصاص الروائح غير المرغوب فيها أو لإزالة طعم الماء غير المستساغ، ويتم التخلص من هذا الفحم مع الرواسب فى أثناء عملية الترشيح.

عملية الترسيب:

بعد أن تنتهى عملية الترويق، ينقل الماء إلى أحواض خاصة تعرف باسم أحواض الترسيب (شكل ١٨).

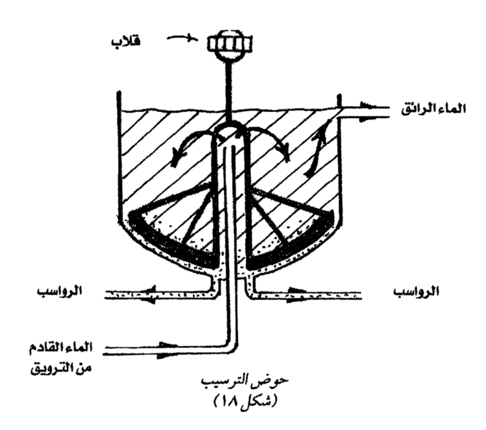
ويدخل الماء إلى هذه الأحواض من أنبوبة فى منتصفها، على حين يسحب الماء الرائق نسبيا من أنبوبة جانبية فى مستوى سطح الماء.

وتتميز هذه الأحواض بأن قاعها يميل من أطرافها إلى منتصفها عند المركز؛ وذلك لسهولة تجميع المواد التى تترسب فى هذه الأحواض، كذلك توجد بهذه الأحواض قلابات تدور ببطء وتلامس قاعها المائل؛ وذلك لدفع الرواسب المتكونة فى أنبوبة تصريف فى مركز قاع الحوض تقريبا.

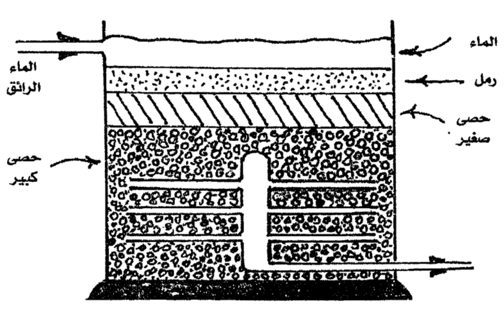
وعادة ما تترك المياه فى هذه الأحواض مدة طويلة، قد تصل إلى نحو ست ساعات، وقد تقل عن ذلك تبعا لنوع المياه وما بها من رواسب. وغالبا ما تكون أحواض الترسيب كبيرة الحجم حتى يمكن عن طريقها تنقية كميات كبيرة من الماء، وخاصة فى محطات المياه التى تخدم مدنا كبيرة.

ومثال ذلك أنه للحصول على ٩٠٠,٠٠٠ لتر من الماء الرائق فى اليوم، يجب معالجة ٣٧,٥٠٠ لتر منها فى الساعة الواحدة، فإذا أردنا أن نترك المياه فى حوض الترسيب لمدة ساعتين لتجميع كل ما بها من رواسب، فإن سعة حوض الترسيب يجب أن تكون ٧٥,٠٠٠ لتر، ويبين هذا المثال أن سعة حوض الترسيب تتناسب مع كمية المياه المطلوب معالجتها ومع الزمن اللازم للترسيب.





حوض الترسيب
(شكل ١٨)



حوض الترشيح السريع
(شكل ١٩)



الترشيح السريع:

عند الاحتياج إلى معالجة كميات كبيرة من الماء كما رأينا فى المثال السابق، فإن الأمر يستوجب أن تكون سعة أحواض الترسيب مناسبة لحجم الماء الكبير المطلوب.

ويحتاج الأمر كذلك إلى تناسب سرعة عملية الترشيح مع الحجم الكبير المطلوب من الماء، وإلا قلَّت كفاءة عملية التنقية بأكملها.

وعملية الترشيح السريع هى آخر خطوة فى عمليات تنقية الماء وهى تساعد على إزالة كل آثار الرواسب التى لم يتم التخلص منها فى أحواض الترسيب.

وتتكون أحواض الترشيح السريع كما فى (شكل ١٩) وتدخل المياه فى هذه الأحواض من أعلاها، وتخرج المياه المرشحة من قاعها.

وتوجد بهذه المرشحات عدة طبقات تعلو كل منها الأخرى، وتتكون الطبقة العليا من نوع خاص من الرمل، وتكون حبيباته فى العادة أكبر قليلا فى الحجم عن حبيبات الرمال المستعملة فى الترشيح البطىء، والتى تمر بها المياه قبل معالجتها.

ويصل سمك طبقة الرمل إلى نحو ٧٥ سنتيمترا، ثم يوجد أسفلها طبقة أخرى من الحصى المتوسط الحجم، ويتراوح قطر حصواته بين ٢ - ٧٥ مليمترا، ويتوزع الحصى فى هذه الطبقة بنظام معين، بحيث يكون الحصى الكبير الحجم فى قاع الطبقة ويعلوه الحصى الصغير الحجم (شكل ١٩).

ويساعد هذا التوزيع على تدرج سرعة جريان الماء فى كل من طبقتى الرمل والحصى، وتتوزع مجموعة من الأنابيب فى داخل طبقة الحصى، وهى تقوم بتجميع المياه المرشحة فى أنبوبة رئيسية تخرج من الجزء الأسفل من الحوض.

ويمكن استعمال طبقة من فحم الأنثراسيت فى الترشيح بدلا من طبقة الرمل العلوية، ولكن هذه الطريقة مرتفعة التكاليف ولا توجد حاجة حقيقية إليها فى أغلب محطات المياه.

ويجب غسل هذه المرشحات من حين لآخر للتخلص مما يعلق بها من رواسب، ويتم ذلك عادة بإمرار تيار من الماء فى عكس الاتجاه الأول الذى تجرى فيه المياه عند الترشيح، أى من طبقة الحصى فى الجزء الأسفل من المرشح، إلى طبقة الرمل فى الجزء الأعلى منه، ويجب إجراء هذه العملية بشىء من الحذر مع التحكم فى قوة تيار الماء حتى لا يختل توزيع حبيبات الحصى أو حبيبات الرمال الموجودة بالمرشح.

وعندما تنتهى عملية الترشيح، يكون الـماء الناتج رائقا ونظيفا وصالحا للشرب، ومع ذلك يجب تحلـيل الماء عند هذه المرحلة للـتأكد من وجود النسبـة المطلوبة من الكلور فيه.

وعادة ما تـقل نسبة الكـلور الموجودة فى الـماء عند هذه المـرحلة؛ وذلك لأن جزءا كبيرا من الكلور الذى سبق إضافتـه للماء فى أول الأمر يستهلك فى أكسدة بعض المواد العضـوية فى أثناء عمليات الترسـيب والترشيح، وفى هذه الحالـة يجب تعديل نسبة الكلور فى الماء إلى الحد المطلوب.

ويفضل ألا تزيد نسـبة الكلور فى الماء على جـزء فى المليون بعد انتهـاء عملية التنقية، وتكـفى هذه النسبة للمحافظـة على نظافة الماء ومنع تلوثه فى أثـناء انتقاله فى خطوط التوزيع.

وقد تكون هناك حاجة فى بعض الظروف لإضافـة كميات إضافية من الكلور إلى الماء، وخاصـة عندما تكون هناك بعض احـتمالات التلوث، ويفضل فـى هذه الحالة إضافة خـليط من الكلور والنشـادر، فهذا الخليط أشـد فعالية فـى مقاومة البكـتريا فى الماء.

تنقية المياه الجوفية

تخلو المياه الجوفية عادة من المواد العالقة، وذلك لأن مسام التربة التى تمر بها هذه المياه تقوم بعمل المرشحات المستخدمة فى تنقية المياه السطحية.

وعند استعمال المياه الجوفية فى أغراض الشرب، يجب التأكد بصورة قاطعة من خلوها من جمـيع أنواع البكتريا والجراثـيم، والتأكد كذلك من أنهـا تخلو من الأملاح الضارة بالإنسان.

وقد تصل بـعض أنواع البكتريا إلى الـمياه الجوفـية مع مياه الأمطار الـتى تقوم بنقلها من سطح التربة فى خلال الصخور، وغـالبا ما يحدث ذلك عندما يكون مستوى المياه الجوفية قريبا من سطح الأرض.

ولا تعيش هذه البكتريا طويلا فى المياه الجـوفية، لعدم وجود ما تتغذى به هذه البكتريـا فى المياه الجوفـية، خاصة عندما تـكون هذه المياه موجـودة منذ زمن طويل تحت سطح الأرض.

وقد تصل البكتريا إلى المياه الجوفية عـند اختلاط هذه المياه ببعض مياه الصرف الصحى، وقـد يحدث ذلك فى بعـض القرى أو بعض المـدن، وعندما يكون مـستوى

المياه الجوفية قريبا من سطح الأرض، ولذلك يجب الكشف دائما على صلاحية المياه الجوفية قبل استعمالها.

والمشكلة الرئيسية بالنسبة للمياه الجوفية هى ما قد يكون بها من أملاح، فقد تذوب بها بعض الأملاح أثناء مرور المياه فى مسام التربة، وإذا زادت نسبة الأملاح فى المياه الجوفية عن حد معين، أصبحت غير صالحة للشرب وطهو الطعام ولا يمكن استعمالها فى رى الأراضى الزراعية.

كذلك يجب أن تخلو المياه الجوفية من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم قبل استعمالها فى عمليات الغسيل، فهذه الأملاح تسبب عسر الماء وتمنع تكون رغوة الصابون، ويجب معالجتها بطرق خاصة لجعلها مياه يسره كما سنرى فيما بعد.

نقل المياه وتوزيعها:

تأخذ أغلب المدن ما تحتاج إليه من الماء لأغراض الشرب أو لاستعمالها فى الأغراض الصناعية، من مجارى المياه العذبة السطحية، مثل الأنهار والبحيرات، ولهذا نجد أن أغلب المدن تقام على شواطئ هذه المجارى المائية.

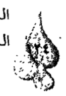
ولم تكن نظم توزيع المياه المستعملة فى المدن اليوم معروفة فى الماضى، بل كانت المياه توزع فى المدن فى القرن الماضى بواسطة فئة معينة من الناس، يحملون المياه من مراكز توزيع خاصة، ويمرون بها على المنازل فى مختلف أحياء المدينة.

ومن أمثلة هذه الفئة «السقا» الذى كان يملأ قربة من الجلد بالماء النقى، ويمر بها على المنازل فى مدينة القاهرة فى أوائل هذا القرن.

وقد اختلفت الصورة اليوم فى كثير من البلاد، فأغلب المدن الكبيرة يوجد بها الآن نظام خاص من الأنابيب التى تمتد فى باطن الأرض، وتنقل بواسطتها المياه العذبة النقية من محطة تنقية المياه إلى كل منزل من المنازل.

وتتضمن شبكة توزيع المياه فى كل مدينة مجموعة من المضخات ومحطات التقوية وبعض الخزانات التى يرتفع مستوى الماء فيها عن مستوى أسطح المنازل لضمان وصول المياه العذبة إلى الجميع.

وعندما تكون المدن مقامة فى أماكن بعيدة عن مجارى المياه العذبة، مثل بعض المدن المقامة على شواطئ البحار أو فى المناطق الجبلية أو الصحراوية، فإن هذه المدن تحتاج إلى توفير مصدر آخر للمياه العذبة، وهى قد تستخدم المياه الجوفية فى



أغراض الشرب وأعمال الزراعة والرى، وقد تقوم بتحلية المياه الملحة بتقطير مياه البحر أو بغيرها من الطرق، وقد تنتقل إليها المياه العذبة من مسافات بعيدة فى بعض الأحيان.

ومن أمثلة هذه المدن مدينة مرسى مطروح التى تقع على شاطئ البحر الأبيض فى جمهورية مصر العربية، وتبعد عن مدينة الإسكندرية بنحو ٢٨٠ كيلو مترا، وتعتمد هذه المدينة فى سد احتياجاتها من المياه العذبة على المياه المنقولة إليها من الإسكندرية.

وكانت المياه العذبة تنقل من مدينة الإسكندرية إلى مرسى مطروح فى عربات السكة الحديد ثم أقيم بعد ذلك خط من الأنابيب لهذا الغرض، كما أن مدينة مرسى مطروح تستمد حاليا جزءا لا بأس به من احتياجاتها من المياه العذبة بتحلية مياه البحر بواسطة جهاز متوسط الحجم.

وهناك مدن أخرى تعتمد فى سد احتياجاتها من المياه العذبة اعتمادا مطلقا على المياه الجوفية المستخرجة بواسطة الآبار، مثل مدينة برلين بألمانيا، بينما تعتمد بعض المدن الأخرى اعتمادا جزئيا على المياه الجوفية، مثل مدينة نيويورك التى تأخذ نصف احتياجاتها من المياه العذبة من بحيرات تقع على بعد نحو ١٥٠ كيلو مترا منها، وتأخذ النصف الآخر من المياه الجوفية.

وتمثل عملية نقل المياه صعوبة كبيرة خاصة عندما يتطلب الأمر نقل المياه النقية من مسافات بعيدة جدا كما فى حالة مدينة لوس أنجلوس بالولايات المتحدة، فهى تأخذ جزءا من مياهها العذبة من خزان يبعد عنها بمقدار ٤٠٠ كيلو متر على وجه التقريب.

وأسهل الطرق لنقل المياه، هو أن تترك المياه لتجرى داخل الأنابيب تحت ثقلها الطبيعى، ولكن ذلك يتطلب أن يكون سطح الأرض مائلا فى اتجاه حركة الماء ميلا مناسبا.

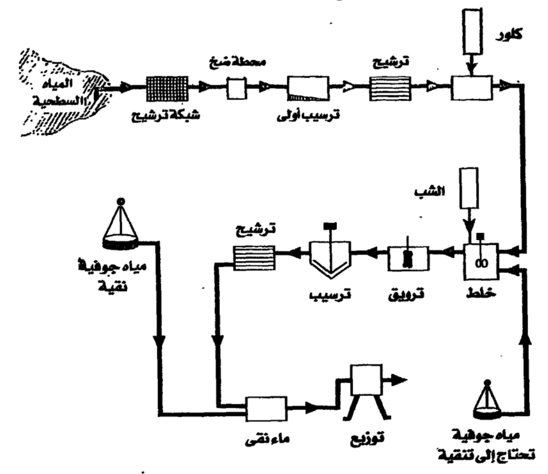
ويشترط ألا يمثل هذا الميل انحدارا كبيرا فى سطح الأرض وإلا تدفقت المياه بشدة فى بعض أجزاء خط الأنابيب، وتسبب ذلك فى حدوث ضغط شديد على مرافق المياه.

وعادة ما يحتاج الأمر إلى استعمال مضخات خاصة ومحطات تقوية لنقل المياه فى الأنابيب من مكان لآخر، وخاصة عندما تنقل المياه من مسافات بعيدة، أو عندما يتطلب الأمر رفع المياه من مستوى لآخر.

وقد تكون مجارى المياه مكشوفة فى بعض أجزائها عند الضرورة ولكن يُفضل دائما نقل المياه فى مجارى مقفلة أو فى أنابيب خاصة حماية لها من التلوث، وقد تستعمل لهذا الغرض أنابيب من الأسمنت المسلح كى تتحمل ضغط المياه أو أنابيب من حديد الزهر.

وقد يحتاج الأمر فى بعض الحالات إلى تغطية السطح الداخلى لأنابيب الحديد بطبقة رقيقة من الأسمنت أو البيتومين، حتى لا تتأثر المياه بصدأ الحديد، وكذلك للحفاظ على سلامة هذه الأنابيب لأطول فترة ممكنة.

وقد تستخدم أنابيب من الأسمنت والأسبستوس فى نقل المياه وهى أنابيب تعيش طويلا ولا تصدأ بمرور الوقت مثل أنابيب الحديد.





إزالة عسر الماء

تحتوى المياه الجوفية عادة على نسبة ما من الأملاح التى تذوب فيها فى أثناء مرورها فى مسام التربة.

وأكثر هذه الأملاح ضررا هى كربونات الكالسيوم والمغنسيوم وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم، وعند وجود هذه الأملاح فى الماء فإنها تمنع تكون الرغوة مع الصابون؛ وبذلك لايمكن استعمال الماء فى الغسيل كما لا يمكن استخدام هذه المياه فى الطهو أو فى إنتاج البخار فى الغلايات.

والسبب فى عدم صلاحية الماء المحتوى على هذه الأملاح فى الغسيل أنها تتفاعل مع الصابون، فالصابون عبارة عن ملح الصوديوم أو البوتاسيوم لبعض الأحماض الدهنية طويلة السلسلة، وعندما يضاف الصابون إلى الماء المحتوى على هذه الأملاح، يحدث تبادل بين هذه الأملاح والصابون، فتتكون أملاح الكالسيوم أو المغنسيوم لهذه الأحماض الدهنية، وهى أملاح شحيحة الذوبان فى الماء وتظهر على هيئة عكارة وسرعان ما تترسب فى قاع الإناء ولا تتكون الرغوة المطلوبة.

وعند استخدام المياه المحتوية على هذه الأملاح فى الطهو أو فى إنتاج البخار، فإنها تترك وراءها بعد فترة قشرة صلبة من الأملاح فى الأوانى أو على أسطح التبخير؛ وذلك لأن أملاح الكالسيوم والمغنسيوم سابقة الذكر يقل ذوبانها عادة بارتفاع درجة الحرارة.

وتؤدى هذه القشور عادة إلى تغير طعم الطعام، كما أنها قد تؤدى إلى انفجار الغلايات بسبب عدم توزيع الحرارة فيها توزيعا منتظما.

وعادة ما يقسم عسر الماء، وهو الاسم الذى يطلق على الماء المحتوى على هذه الأملاح، إلى قسمين رئيسيين هما «العسر المؤقت» و«العسر الدائم».

عسر الماء المؤقت:

يعرف هذا النوع من العسر أيضا بعسر الكربونات؛ وذلك لأن العسر فى هذه الحالة ينتج عن وجود كربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنسيوم.

ويقل ذوبان هذه الأملاح فى الماء بارتفاع درجة الحرارة، ولذلك تنفصل هذه الأملاح من الماء عند استخدامها فى الغلايات لتكوين البخار وتكون قشور على الأسطح المعدنية وقد تسبب انفجار المواسير أو الغلايات.

ويمكن التخلص من عسر الكربونات بإضافة حمض معدنى مثل حمض الهدروكلوريك، أو بواسطة الطريقة المعروفة بطريقة الجير وكربونات الصوديوم.

وتنحل هذه الأملاح فى درجات الحرارة المرتفعة، ولكن انحلالها ينتج عنه تكون غاز ثانى أكسيد الكربون وهو غاز حمضى، وقد يحدث بعض التآكل فى الأسطح المعدنية.

عسر الماء الدائم:

يطلق هذا الاسم على المياه المحتوية على أملاح الكالسيوم والمغنسيوم الأخرى مثل أملاح الكبريتات والسليكات، وهى أملاح تتميز بثباتها فلا تنحل بالحرارة مثل أملاح الكربونات المسببة للعسر المؤقت، ولكنها تشبهها فى أن ذوبانها يقل فى الماء بارتفاع درجة الحرارة، ولذلك فهى تترسب على أسطح الغليان على هيئة قشور.

إزالة عسر الماء بطريقة الجير وكربونات الصوديوم

يستخدم فى هذه الطريقة مادتان معا وهما الجير وكربونات الصوديوم؛ وذلك للتخلص من كل من العسر المؤقت والعسر الدائم فى نفس الوقت، وقد بدأ استخدام هذه الطريقة عام ١٨٤١ م.

وعادة ما تضاف هذه المواد فى أثناء عملية تنقية المياه، فى عملية الترسيب أو عملية الترويق ثم ترشح الرواسب المتكونة بعد ذلك.

وتساعد إضافة الجير على التخلص من العسر المؤقت للماء، فيتفاعل الجير وهو عبارة عن هدروكسيد الكالسيوم مع بيكربونات المغنسيوم ويحولها إلى هدروكسيد المغنسيوم، كما يتفاعل مع بيكربونات الكالسيوم الذائبة ليحولها إلى كربونات الكالسيوم غير الذائبة، والتى يمكن التخلص منها بعد ذلك بالترشيح.

كذلك تضاف كربونات الصوديوم للتخلص من العسر الدائم للماء، فتتفاعل الكربونات مع كل من كبريتات الكالسيوم وكبريتات المغنسيوم لتعطى كربونات الكالسيوم والمغنسيوم وهى مواد لا تذوب فى الماء وتزال بالترشيح، بينما تبقى كبريتات الصوديوم فى الماء وهى لا تسبب عسر الماء.

وتساعد هذه الطريقة على التخلص من بعض أملاح السليكا وبعض المواد الأخرى العالقة بالماء.

وعادة ما يكون الماء الناتج من هذه العملية قلوى التأثير نتيجة لوجود زيادة بسيطة من كل من الجير وكربونات الصوديوم، ولذلك يفضل أن يمرر قدر من غاز ثانى أكسيد الكربون فى الماء قبل ترشيح الرواسب لمعادلة هذه القلوية.

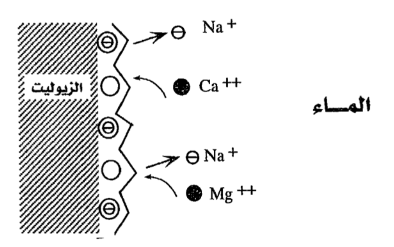


وبالرغم من سهولة هـذه الطريقة إلا أن لها بعض المساوئ،منها أنـه تتكون فيها كميات كبيـرة من الرواسب التى تحتاج إلى ترشيح، وهى أيضا كثيـرة التكاليف عندما نرغب فى إزالة عسر المـاء كى يصبح تحت ٨٠ جزء فى المليون، ولهذا السـبب يعتبر تركيز الأملاح فى هذه الحدود مناسبا لكل الأغراض.

استخدام الزيوليت فى إزالة عسر الماء:

بدأ استعمال الزيوليت فى إزالة عسر الماء فى بداية القرن العشرين.

والزيوليت عبارة عن مـركب معقد من مركبات الصوديوم، وهو يـعتبر من مواد التبادل الأيونى، فعندما تمر المياه فى خلال الزيوليت يتم تبادل الأيونات بينهما، فتترك أيونات الصوديوم [Na^+] الزيوليت وتنزل إلى الماء،بينما تحل محلها أيونات الكالسيوم [Ca^{++}] وأيونات الـمغنسـيوم [Mg^{++}] الموجودة بـالماء، وتتحد بمـادة الزيوليت. (شكل ٢٠).



تبادل الأيونات بين الزيوليت والماء
(شكل ٢٠)

ويمكن بهذه الطريقة أن تحل أيونات الصـوديوم محل كل من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم حتى يخلو منها الماء تماما بعد فترة من الزمان.

ولا تؤثـر أيونات الـصوديـوم التى تـنزل إلى الـماء فـى صلاحـيـة هذا المـاء للاستعـمال، فهى تحل محل أيـونات الكالسيوم والمغـنسيوم فى المركبـات الأصلية، مكونة كبريتـات الصوديوم وكربونات الصوديوم، وهى مواد غير ضـارة ولا تسبب عسر الماء ولا تمنع رغوة الصابون.

وعندما يترك الزيوليت ملامسا للماء مدة طويلة. فإن كل أيونات الصوديوم الموجودة به تنزل إلى الماء وتحل محلها أيونات الكالسيوم والمغنسيوم ويفقد الزيوليت بذلك صلاحيته للتبادل الأيونى.

ويمكن إعادة تجديد الزيوليت لإعادة استخدامه بغسله بمحلول من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) فتحل أيونات الصوديوم من المحلول محل أيونات الكالسيوم والمغنسيوم المرتبطة بالزيوليت، والتى تتحول إلى كلوريد الكالسيوم وكلوريد المغنسيوم. وبعد غسل الزيوليت بالماء يصبح صالحا للاستعمال فى عمليات التبادل الأيونى وفى إزالة عسر الماء مرة أخرى.

ولطريقة إزالة عسر الماء بواسطة الزيوليت مزايا كثيرة، فيمكن استعمال وحدات صغيرة مملوءة بالزيوليت فى المنازل، تستطيع تحويل الماء بعد أن يمرر بها من ماء عسر إلى ماء يسر، ولا توجد فى هذه الطريقة رواسب يجب إزالتها بالترشيح كما فى الطريقة السابقة، ولهذا فإن طريقة الزيوليت طريقة بسيطة يمكن بواسطتها إزالة عسر الماء بسرعة، كما أنها تصلح كذلك لإزالة كل عسر الماء عند الاحتياج إلى ذلك.

ومع ذلك فإن طريقة الزيوليت لا تصلح لإزالة المواد العالقة بالماء أو المواد الغروانية الموجودة به، رغم أن الماء يمر فى عدة طبقات من الزيوليت، إلا أن هذا لا يكفى لإزالة مثل هذه المواد، كما أن بعض الناس يجدون للماء الناتج منها طعما غير مستساغ عند شربه.

تنقية مياه الصرف الصحى

تتكون مياه الصرف الصحى من المياه التى تم استعمالها بالوحدات السكنية، مثل مياه دورات المياه والمطابخ بالمنازل والفنادق، ومن مختلف أنواع المياه المستخدمة فى المحال الصناعية الصغيرة والورش.

ويصل حجم مياه الصرف الصحى فى بعض الأحيان إلى حدود هائلة، وخاصة فى المدن الكبيرة التى تنتشر بها عشرات الألوف من الوحدات السكنية والمتاجر والمكاتب والورش، ويزداد هذا الحجم كثيرا عند إضافة مياه الأمطار والسيول إلى مياه الصرف الصحى، وخاصة فى البلدان التى تكثر بها العواصف والأمطار.

ويتم تجميع كل هذه المياه فى أغلب المدن فى شبكة من الأنابيب، تعرف باسم شبكة الصرف الصحى، وهى تحمل هذه المياه من مختلف المساكن والمنشآت لتوجهها خارج المدينة حيث يتم التخلص منها بأسلوب أو بآخر.

ويعتبر التخلص من مياه الصرف الصحى بالمدن الكبيرة أحد المشاكل الرئيسية بالنسبة للقائمين على رعاية الشئون الصحية بهذه المدن، وبخاصة عندما يصل حجم هذه المياه إلى حدود كبيرة قد يصعب معها فى بعض الأحيان التخلص منها بطريقة صحية.

وقد كانت هناك محاولات كثيرة لاستنباط طرق فعالة لتنقية هذه المياه قبل إلقائها فى المجارى المائية الطبيعية منعا لتلوث هذه المجارى والإضرار بها، كذلك يسود اليوم التفكير فى إعادة استخدام هذه المياه، بعد تنقيتها، فى أغراض الزراعة والرى، نظرا لحجم هذه المياه الهائل، كما أنها قد تستخدم فى نهاية الأمر فى أغراض الشرب.

ويقتضى ذلك أن تمر مياه الصرف الصحى بعدة مراحل من مراحل التنقية، يتم فيها التخلص فى كل مرحلة منها من بعض محتويات مياه الصرف الصحى السامة وغير المرغوب فيها.

وعادة ما يتم تصنيف مياه الصرف الصحى إلى نوعين، يعرف أحدهما باسم «المياه السوداء» «Black Water»، وهى المياه التى تحمل الفضلات العضوية الواردة من دورات مياه المنازل، ويعرف النوع الثانى منها باسم «المياه الرمادية» «Grey Water»، وتشمل جميع أنواع المياه الأخرى بما فيها مياه السيول والأمطار.

ويتم عادة الفصل بين هذين النوعين من مياه الصرف الصحى فى كثير من المدن الأوربية والأمريكية، ويجمع كل منهما فى شبكة صرف منفصلة تماما عن الشبكة الأخرى.

ويؤدى هذا الفصل إلى تسهيل عمليات التنقية المطلوبة؛ وذلك لأن حجم المياه الرمادية كبير جدا فى أغلب الأحيان، ولا تحتاج إلى كثير من التنقية فى أغلب الأحيان لقلة ما بها من مواد ملوثة، وقد يمكن استعمالها مباشرة فى أعمال الزراعة أو الرى، كما يمكن إلقاء الفائض منها مباشرة فى المجارى المائية الطبيعية.

أما المياه السوداء، وهى المياه الواردة من دورات مياه المنازل والمتاجر، فهى شديدة التلوث ولا يمكن إلقائها مباشرة فى المجارى المائية الطبيعية، ولكنها تحتاج إلى كثير من خطوات التنقية حتى لا تسبب ضررا للبيئة أو للإنسان.

وتهدف عملية تنقية مياه الصرف الصحى إلى إزالة كل المواد الملوثة الكيميائية والبيولوجية من هذه المياه، وهى المواد التى قد تضر بصحة الإنسان وتفسد البيئة الطبيعية التى قد تلقى بها هذه المياه.

وتتضمن هذه العمليات التخلص من كل المواد العالقة بهذه المياه، وإزالة أغلب المواد العضوية التى تؤدى إلى نمو الطحالب والفطريات،بالإضافة إلى إزالة لون المياه ورائحتها.

ولا شك أن درجة نقاء مياه الصرف الصحى فى نهاية هذه العمليات تعتمد كثيرا على نوعية المياه الأصلية الداخلة فى عمليات التنقية وعلى ما بها من شوائب ومواد ذائبة، كما تعتمد كذلك على الطريقة المستخدمة فى هذه التنقية.

وعادة ما تنقسم عمليات تنقية مياه الصرف الصحى إلى مراحل ثلاث تعرف باسم «المعالجة الأولية» وهى أبسط هذه العمليات ويتم إجراؤها فى كثير من البلاد، و«المعالجة الثانية» ويتم إجراؤها على مياه الصرف الصحى عادة للحصول على مياه تصلح للزراعة والرى، «والمعالجة الثلاثية» وهى أكثرها تعقيدا وتكلفة وتجرى عادة للحصول على مياه صالحة لأغراض الشرب والطهو.

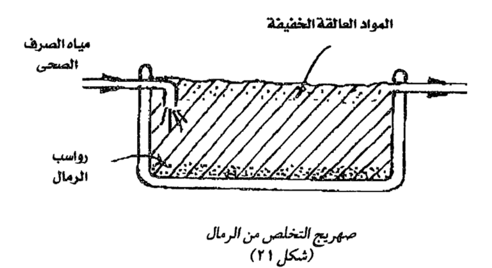
المعالجة الأولية:

تتلخص هذه الطريقة فى إمرار مياه الصرف الصحى بخطوات ثلاث، الخطوة الأولى منها تدفع فيها مياه الصرف فى خلال شبكات خاصة لترشيح المياه والتخلص من كل ما بها من شوائب معلقة مثل قطع القماش وقطع الأوراق والأخشاب، ثم تدفع هذه المياه بعد ذلك إلى صهاريج خاصة تعرف باسم صهاريج التخلص من الرمال (شكل ٢١).

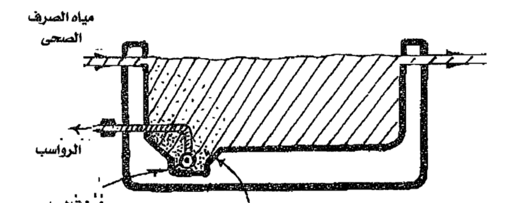


وتدخل مياه الصرف الصحى من أنابيب فى الطرف العلوى من هذه الصهاريج على هيئة تيار ضعيف يسمح بهبوط بعض المواد العالقة غير العضوية مثل الرمال وغيرها إلى قاع الصهريج، ثم تسحب المياه بعد ذلك من أنبوبة فى الطرف الثانى من الصهريج عند سطح الماء حتى لا تحمل معها الحبيبات المترسبة، ولا تحمل معها إلا الشوائب العضوية الخفيفة وبعض المواد الذائبة.

وتدفع المياه بعد ذلك إلى صهاريج أخرى تعرف باسم صهاريج الترسيب (شكل ٢٢)، ويتم فيها ترسيب أغلب المواد العضوية الخفيفة والعالقة بالماء.



صهريج التخلص من الرمال
(شكل ٢١)



صهريج الترسيب
(شكل ٢٢)



وعادة ما تترك المياه فى هذه الصهاريج مدة من الزمن تصل إلى عدة ساعات، لإعطاء الفرصة كى ترسب أغلب المواد العضوية إلى القاع على هيئة راسب لزج يسحب بعد ذلك بواسطة مضخة خاصة توجد بقاع الصهريج.

وتكفى هذه الطريقة لمعالجة مياه الصرف الصحى فى كثير من البلاد لقلة تكاليفها، ويفضل دائما تطهير هذه المياه بإضافة نسبة من غاز الكلور إليها، ثم تلقى بعد ذلك فى حجم كبير من الماء الطبيعى مثل البحار أو الأنهار.

المعالجة الثنائية:

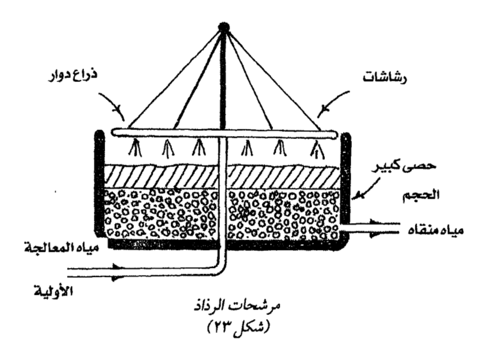
ستعمل فى هذه المعالجة، المياه الناتجة من المعالجة الأولية وتستخدم فيها بكتريا الهواء فى أكسدة المواد العضوية وتكسيرها.

وتمر المياه فى هذه الطريقة فى رشاشات فوق صهاريج خاصة تعرف باسم «مرشحات التنقيط» «Trickling Filters»، ويتم فى هذه الطريقة تهوية المياه أثناء سقوطها على هيئة رذاذ أو قطرات من الرشاشات، ثم تمر هذه المياه بعد ذلك ببطء على طبقة من الحصى كبير الحجم، وتتم أكسدة المركبات العضوية الموجودة بالمياه بواسطة البكتريا على سطح طبقة الحصى، وتتحول هذه المواد العضوية إلى مركبات بسيطة لا ضرر منها، وتعرف هذه العملية أيضا باسم الأكسدة البيولوچية (شكل ٢٣).

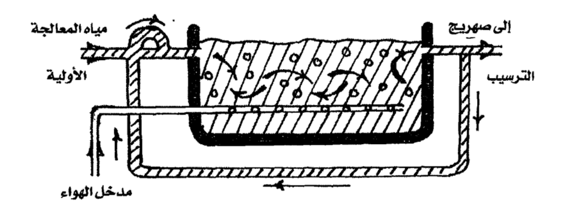
وتستعمل أيضا فى هذه المعالجة طريقة أخرى باسم «عملية تنشيط الرواسب» «Activated Sludge Process»، وتدفع فيها المياه إلى صهاريج خاصة يمر فيها تيار من الهواء من القاع إلى قمة الصهريج (شكل ٢٤) وتدخل البكتريا إلى الصهريج مع تيار الهواء الذى يساعد على تقليب الرواسب وعلى أكسدة المواد العضوية بواسطة البكتريا ثم تدفع المياه بعد ذلك إلى صهاريج ترسيب للتخلص من كل الرواسب. ويتم تطهيرها بعد ذلك بإضافة نسبة من الكلور. وتشبه هذه الطريقة طريقة مرشحات التنقيط.

المعالجة الثلاثية:

تستعمل فى هذه المعالجة المياه الناتجة من المعالجة الثنائية، ومن الملاحظ أن مياه المعالجة الثنائية رغم خلوها من أغلب المواد العضوية، إلا أنها ما زالت تحتوى على بعض المواد غير العضوية الذائبة فيها مثل أملاح الفوسفات والنترات، بالإضافة إلى احتوائها على أيونات بعض الفلزات الثقيلة التى تسبب كثيرا من الضرر للإنسان.



مرشحات الرذاذ
(شكل ٢٣)



طريقة تنشيط الرواسب
(شكل ٢٤)



وعادة ما نلجأ إلى المعالجة الثلاثية عندما نريد استعمال مياه الصرف الصحى فى أغراض الشرب أو ما يشابهها من أغراض تقتضى خلوها من كل الشوائب.

وتعتمد طريقة التنقية فى هذه الحالة على نوع المواد المتبقية فى مياه الصرف الصحى الناتجة من المعالجة الثنائية، ولذلك يلزم إجراء التحاليل المناسبة قبل اختيار الطريقة المناسبة.

وعادة ما يستخدم لهذا الغرض بعض عمليات التقطير أو الفصل الغشائى والمعاملة بالفحم المنشط واستعمال الجير لترسيب ما بها من الفلزات الثقيلة.



معالجة ثلاثية | معالجة ثنائية | معالجة أولية

مياه الصرف الصحى

ترسيب

ترشيح

كلور

تطهير

ميثان

الرواسب

معالجة بيولوجية

مياه المعالجة الأولية تلقى فى المجارى المائية

امتصاص الماء

دفن المخلفات فى الأرض

تهوية

أكسدة بيولوجية

تطهير

مياه المعالجة الثنائيه تلقى فى المجارى المائية

معالجة كيميائية

فصل غشائى أو تقطير

فحم منشط

مياه صالحة للشرب



طرق تنقية مياه الصرف الصحى





الفصل العاشر

تحلية الماء

يطلق على عملية إزالة الأملاح من مياه البحار والمحيطات اسم تحلية الماء، كما يطلق عليها أيضا اسم إعذاب الماء.

وتوجد أغلب المياه على سطح الكرة الأرضية فى البحار والمحيطات على هيئة ماء ملح؛ وذلك لأن الماء مذيب جيد لكثير من المركبات والأملاح الموجودة بالقشرة الأرضية.

وتبلغ نسبة المياه الملحة على سطح الأرض نحو ٧٩,٥ ٪ من مجموع ما ينتشر على سطحها أو يوجد فى جوفها من ماء، على حين لا تزيد نسبة المياه العذبة التى قد تصلح للشرب على ٢,٥ ٪ فقط.

ونظرا للزيادة المضطردة فى أعداد السكان على مستوى العالم، فإنه من المتوقع أن يزداد الاحتياج للماء الصالح للشرب وللاستعمال الآدمى فى الأعوام القليلة القادمة.

ويبلغ تعداد سكان العالم اليوم نحو ٥٠٠٠ مليون نسمة، وقد يصل هذا التعداد إلى نحو ٦٠٠٠ مليون فى منتصف القرن القادم، كما أن ارتفاع مستوى المعيشة فى كثير من الدول سيؤدى أيضا إلى زيادة استهلاك المياه العذبة بشكل كبير.

ويمكن تصور ذلك بشكل أكثر وضوحا عند مقارنة متوسط استهلاك الفرد للماء فى الدول النامية بمتوسط استهلاك الفرد للماء فى الدول الصناعية، ففى حالة الدول النامية يصل استهلاك الفرد إلى نحو ٥٠ لترا فقط فى اليوم، على حين يبلغ استهلاك الفرد فى الدول الصناعية إلى نحو ٥٠٠ لتر فى اليوم، ويشمل هذا التقدير جميع الأنشطة الآدمية باختلاف أنواعها، مما يبين لنا بجلاء مقدار الحاجة الشديدة للماء العذب فى السنوات القادمة.

وتختلف نسبة الأملاح المسموح بها فى مياه الشرب من بلد إلى آخر.

ومن أمثلة ذلك أن المواصفات القياسية الأمريكية لمياه الشرب تتطلب ألا تزيد نسبة الأملاح الكلية الذائبة عن ١٥٠٠ جزء فى المليون، بينما نجد أن هناك دولا أخرى تصل نسبة الأملاح الكلية الذائبة فى مياه الشرب فيها إلى أكثر من ٣١٠٠ جزء فى المليون كما فى مياه الشرب فى أستراليا، وقد تصل إلى نحو ٤٠٠٠ جزء فى المليون كما فى بعض أجزاء المكسيك.



وهناك كثير من المناطق التى لا تتوافر بها كميات مناسبة من المياه العذبة الصالحة للشرب، وخاصة فى المناطق شديدة الجفاف التى لا تسقط بها الأمطار أو المناطق الصحراوية التى لا توجد بها كميات كافية من المياه الجوفية، ولذلك فقد لجأت الدول التى توجد فى مثل هذه المناطق إلى تحلية مياه البحر للتغلب على مشكلة نقص المياه العذبة ولمقابلة احتياجاتها من مياه الشرب والمياه المطلوبة للزراعة والصناعة وغيرها من الأغراض.

وتحتوى مياه البحر على أنواع مختلفة من الأملاح الذائبة فيها، ولكن أهم هذه الأملاح هى أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم وتوجد عادة على هيئة كلوريدات أو كبريتات أو كربونات.

ولا يمكن إزالة هذه الأملاح من مياه البحر بالطرق المستخدمة فى إزالة عسر الماء، فإن نجحت هذه الطريقة مع بعض أملاح الكالسيوم والمغنسيوم فإنها لا تصلح للتخلص من الأملاح الأخرى مثل كلوريدات الصوديوم والبوتاسيوم.

ويعتمد اختيار الطريقة المثلى لتحلية مياه البحر على عدة عوامل أهمها النسبة التى توجد بها هذه الأملاح فى الماء، وسعر تكلفة المتر المكعب من الماء العذب الناتج من التحلية، الذى يعتمد بدوره على تكاليف المعدات واستهلاك الوقود وغير ذلك من العوامل.

وهناك عدة طرق لتحلية الماء، فمنها ما يعتمد على استخدام الأغشية شبه المنفذة، ومنها ما يعتمد على عمليات التقطير الحرارى، أو على عمليات تجميد الماء إلى جليد، أو الطرق الكيميائية التى تستعمل فيها أغشية التبادل الأيونى.

أولا: طرق فصل الأملاح بالأغشية:

تعتبر هذه الطريقة من أسهل طرق فصل الأملاح من مياه البحار، وهى تعتبر أفضل من طريقة التقطير لأنها تعمل فى درجات الحرارة العادية، ولذلك فإن استهلاكها للطاقة يكون محدودا إلى حد كبير، فهى لا تشتمل على إحداث تغيير فى أطوار الماء، أى لا يحدث فيها تحول الماء من الطور السائل إلى طور البخار كما فى طريقة التقطير، فالتقطير يحتاج إلى طاقة كبيرة، ولكن هذه الطريقة تحول الماء الملح إلى ماء عذب مباشرة فى درجات الحرارة العادية تقريبا.

وهناك طريقتان أساسيتان تستعمل فيهما الأغشية شبه المنفذة لتحلية الماء هما:

طريقة الفصل الغشائى الكهربائى أو الديلزة الكهربائية «Electrodialysis»

وطريقة الضغط الأسموزى العكسى «Inverted Osmosis» أو «Reverse Osmosis».

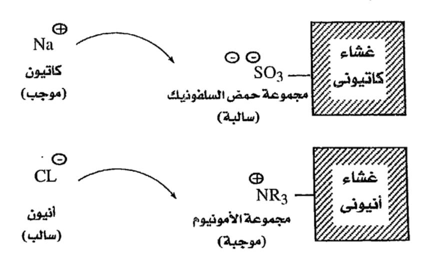
أ ـ طريقة الفصل الغشائى الكهربائى:

تعتبر هذه الطريقة من أقدم طرق تحلية المـاء التى استعملت فيها الأغشية، وقد بدأ استعمالها اقتصاديا منذ عام ١٩٦٠ م.

وقد كان العالم العربى المسلم البيرونى من أوائل من استخدم الأغشية فى تحلية الماء عندما قام بوضع قارورة من الفخار فى الماء المالح وتركها حتى تمتلئ بالماء العذب.

وهناك نوعان من الأغشية، أغشية أنيونية «Anionic Membranes»، وهى أغشية تسمح بنفاذ الأنيونات فيها، أى الأيونات التى تحمل شحنة سالبة مثل أيون الكلور [$CL^{\ominus}$] أو أيون الكبريتات [$SO4^{\ominus\ominus}$]، وأغشية أخرى كاتيونية «Cationic Membranes»، وهى أغشية تسمح بنفاذ الكاتيونات، أى الأيونات الموجبة مثل أيونات الفلزات، ومن أمثلتها كاتيون الصوديوم [$NA^{\oplus}$]، وكاتيون البوتاسيوم [$K^{\oplus}$] أو كاتيون الكالسيوم [$Ca^{\oplus\oplus}$].

وتصنع أغلب هذه الأغشية من مواد عضوية متبلمرة، ومن أمثلتها الأغشية المصنوعة من بوليمر «البولى ستايرين ـ ثنائى فاينيل البنزين» «Polystyrene - Divinylbenzene» التى تحتوى جزيئاتها على مجموعة نشيطة تستطيع أن تجذب الأيونات المخالفة لها فى الشحنة، فتحتوى الأغشية الكاتيونية على مجموعة حمض السلفونيك التى تحمل شحنة سالبة [$SO3^{\ominus\ominus}$] وتستطيع أن تجذب الكاتيونات، بينما تحتوى الأغشية الأنيونية على مجموعة الأمونيوم الرباعية التى تحمل شحنة موجبة [$NR3^{\oplus}$] وتستطيع أن تجذب الأنيونات.





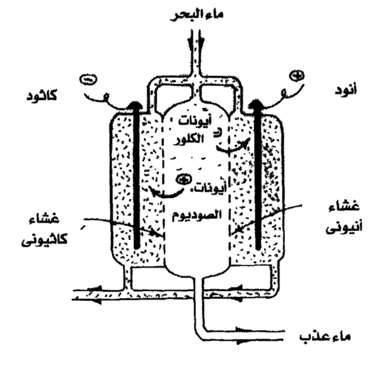
وتعرف مثل هذه الأغشية باسم «الأغشية الانتقائية» «Selective Membranes»، لأن كل منها ينتقى من المحلول نوعا واحدا من الأيونات فقط.

وتبدو قدرة هذه الأغشية على الانتقاء من المثال التالى:

فإذا وضعنا الغشاء الكاتيونى فى محلول من الملح فى الماء، فإن مجموعة حمض السلفونيك المرتبطة بجزيئات هذا الغشاء تقوم بالتقاط الكاتيونات من المحلول، أى تلتقط أيونات الصوديوم الموجبة، وتسمح لها بالنفاذ فى الغشاء إذا أمر تيار كهربائى فى المحلول، بينما لا تستطيع الأنيونات، أى الأيونات السالبة أن تقترب من هذا الغشاء، بل تتنافر معه ولا تنفذ فيه.

ويحدث شىء مماثل عندما نضع غشاء أنيونيا فى جزء آخر من هذا المحلول، فستقوم مجموعة الأمونيوم الرباعية يجذب أيونات الكلور السالبة وتسمح لها بالنفاذ فيها بتأثير التيار الكهربائى، بينما تتنافر مع أيونات الصوديوم الموجبة.

وتستخدم هذه الخاصية الانتقائية فى تحلية الماء، ويمثل (الشكل رقم ٢٥)، أحد الأجهزة المستخدمة فى تحلية مياه البحر بطريقة الفصل الغشائى الكهربائى.



جهاز الفصل الغشائى
(شكل ٢٥)



وينقسم هذا الجهاز إلى ثلاث غرف، ويوضع قطب سالب فى إحدى هذه الغرف، وقطب موجب فى الغرفة الأخرى، بينما يفصل الغرفة الوسطى عن الغرفتين الجانبيتين غشاءين، أحدهما غشاء كاتيونى، ويوضع ناحية القطب السالب، والآخر غشاء أنيونى، ويوضع ناحية القطب الموجب.

وعند إمرار التيار الكهربائى فى المحلول، تمر الأيونات السالبة من خلال الغشاء الأنيونى إلى الغرفة التى بها القطب الموجب، وتمر الأيونات الموجبة من خلال الغشاء الكاتيونى إلى الغرفة المحتوية على القطب السالب، ويخرج الماء العذب الخالى من الأملاح من الحجرة الوسطى.

ويبلغ سمك الأغشية المستعملة فى هذه الطريقة نحو ٠,٢ - ٠,٨ من المليمتر، ولا يمكن استعمال هذه الأغشية بصفة مستمرة، ومع ذلك يمكن استعمال بعض هذه الأغشية لمدة قد تصل إلى خمس سنوات.

وتتناسب الطاقة الكهربائية المستعملة فى هذه الطريقة مع كمية الأملاح الذائبة فى الماء، فكلما زادت نسبة الأملاح زاد الاحتياج إلى طاقة كهربائية أعلى.

وقد استعملت هذه الطريقة بنجاح فى تحلية المياه الملحة التى تقل فيها نسبة الأملاح الذائبة فى الماء عن ٥ جرام فى اللتر، وتوجد مثل هذه المياه فى بعض مناطق الشرق الأوسط وفى جنوب الاتحاد السوفيتى، وفى بعض المناطق بالولايات المتحدة.

ويقدر عدد الوحدات التى استعملت من هذا النوع منذ عام ١٩٦٠ بحوالى ٨٠٠٠ وحدة على مستوى العالم، وأعطت هذه الوحدات نحو ٢٠٠,٠٠٠ متر مكعب من الماء العذب فى اليوم، وتوجد بعض هذه الوحدات فى جمهورية مصر العربية وفى المملكة العربية السعودية وفى غيرهما من البلدان.

وهناك طريقة أخرى تشبه كل الشبه طريقة الفصل الغشائى الكهربائى، ولكن يستعمل فيها أغشية شبه منفذة غير انتقائية مما يساعد على خفض تكلفة عملية التحلية إلى حد ما، وإن كانت هذه الطريقة تحتاج إلى طاقة كهربائية عالية لتحريك الأيونات وجذبها إلى الأقطاب.

ب ـ طريقة الضغط الأسموزى العكسى:

تعتبر هذه الطريقة أكثر حداثة من طريقة الفصل الغشائى الكهربائى، وتستعمل فيها كذلك أغشية شبه منفذة، ولكن تستعمل فيها ظاهرة الضغط الأسموزى.

ويمكننا مشاهدة ظاهرة الضغط الأسموزى فى التجربة المعملية التالية:

إذا فرضنا أن لدينا أنبوبة ذات فرعين كما فى (شكل ٢٦)، ووضعنا فى قاع هذه الأنبوبة غشاء شبه منفذ بحيث يفصلها إلى قسمين، ثم وضعنا فى كل من فرعيها بعضا من الماء، فإن جزيئات الماء سوف تمر خلال الغشاء من الفرع الذى يكون فيه سطح الماء أعلى، إلى الفرع الذى يكون فيه سطح الماء أقل، حتى يتساوى سطحى الماء فى الفرعين، ويمكننا عندئذ أن نقول أن عدد جزيئات الماء الذى يمر فى أحد الاتجاهين، من الفرع الأيمن مثلا إلى الفرع الأيسر، قد أصبح مساويا لعدد جزيئات الماء التى تمر فى الاتجاه الآخر، من الفرع الأيسر إلى الفرع الأيمن، ويقال عندئذ أن هناك حالة اتزان حول سطحى الغشاء شبه المنفذ (شكل ٢٦ أ).

وإذا أذبنا قليلا من الملح فى أحد فرعى الأنبوبة، فإن عدد جزيئات الماء فى هذا الفرع، أى فى المحلول، التى تواجه الغشاء شبه المنفذ، يصبح أقل من عدد جزيئات الماء المواجهة لسطح الغشاء فى الفرع المحتوى على الماء فقط؛ وذلك لأن بعض جزيئات الملح قد حلت محل جزيئات الماء المواجهة للغشاء ناحية المحلول.

ويترتب على ذلك أن عدد جزيئات الماء التى تدخل إلى الفرع المحتوى على المحلول يكون أكثر من عدد جزيئات الماء التى تخرج من هذا المحلول، وبذلك يرتفع سطح المحلول تدريجيا وينخفض سطح الماء فى الفرع الآخر حتى يصبح ضغط جزيئات الماء على سطحى الغشاء متساويا من جديد (شكل ٢٦ ب).

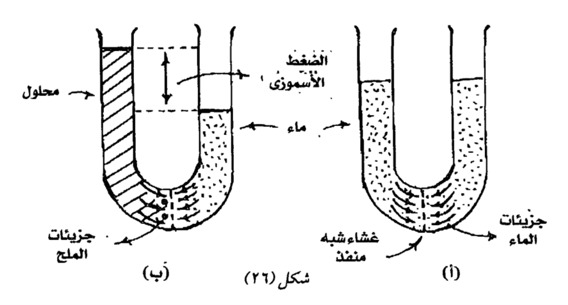
ويعرف الفرق بين سطحى الماء والمحلول فى ذراعى الأنبوبة بالضغط الأسموزى.

وتحدث نفس الظاهرة إذا فصلنا محلولا مخففا من الملح عن محلول آخر أكثر تركيزا بغشاء شبه منفذ، فإن جزيئات الماء سوف تمر من المحلول المخفف إلى المحلول الأكثر تركيزا (شكل ٢٧ أ)، ولكننا إذا ضغطنا على سطح المحلول المركز بضغط يزيد على الضغط الأسموزى، فإن الماء سوف يمر من المحلول المركز إلى المحلول المخفف، أى أن الوضع ينعكس، ويمر الماء فى الاتجاه المعاكس للضغط الأسموزى الطبيعى، ولهذا سميت هذه الطريقة بطريقة الضغط الأسموزى العكسى (شكل ٢٧ ب).

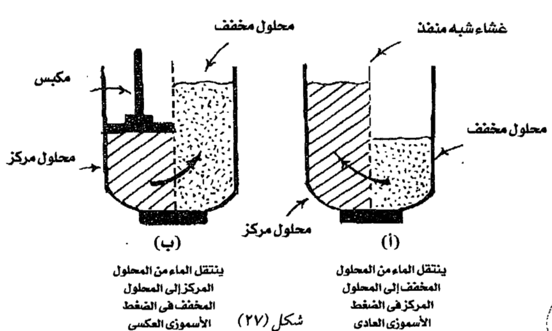
ولا تصلح هذه الطريقة لتحلية المياه المالحة ذات التركيز العالى، مثل مياه البحار والمحيطات التى تحتوى على نسبة عالية من الأملاح تصل إلى نحو ٣٥جراما فى اللتر؛ وذلك لأنها فى هذه الحالة تحتاج إلى استعمال ضغط مرتفع يصل إلى نحو ٥٠ مرة قدر الضغط الجوى المعتاد، حتى يمكن التغلب على الضغط الأسموزى لماء البحر، والذى يبلغ نحو ٢٥ جو.

ويتطلب استعمال مثل هذا الضغط المرتفع ابتكار أغشية شبه منفذة من نوع خاص تستطيع أن تتحمل الضغط دون أن تفقد صلاحيتها مما يرفع كثيرا من تكلفة هذه العملية.

وتصلح هذه الطريقة بصفة عامة لتحلية المياه الملحة التى لا تزيد نسبة الأملاح فيها على ١٠ جرام فى اللتر، مثل بعض أنواع المياه التى توجد فى بعض مناطق شمال أفريقيا، وفى الشرق الأوسط وغيرها.



شكل (٢٦)



شكل (٢٧)

وأهم ما يميز هذه الطريقة أنها لا تستهلك إلا قدرا ضئيلا من الطاقة، وتعتبر المحطة الموجودة بجدة بالمملكة العربية السعودية من أكبر المحطات التى تستعمل فيها طريقة الضغط الأسموزى العكسى.

وقد يستلزم الأمر فى بعض الأحيان معالجة المياه الملحة معالجة مبدئية قبل استعمال طرق التحلية بواسطة الأغشية، مثل ترشيح المياه مما قد يعلق بها من مواد حتى لا تؤثر على كفاءة الغشاء المستعمل، كما قد يتطلب الأمر إزالة العسر المؤقت للماء بإضافة حمض الكبريتيك.

ثانيا: تحلية مياه البحر بالتقطير:

تعتبر طريقة التقطير من أقدم الطرق التى استعملت فى فصل الأملاح من الماء، وفى تحلية مياه البحار.

وفكرة تحويل المياه الملحة إلى مياه عذبة بالتقطير ليست جديدة تماما، فقد عرفها البحارة الإغريق فى القرن الثالث قبل الميلاد. فكانوا يحصلون على مياه الشرب بإغلاء مياه البحر ثم تكثيف الأبخرة الناتجة إلى مياه عذبة خالية من الأملاح.

وقد وصف الفيلسوف الإغريقى أرسطو ظاهرة التقطير بقوله: «عندما تتبخر مياه البحر تتحول إلى مياه عذبة عند تكثيفها»، وهو نفس المبدأ المستعمل اليوم فى تحلية مياه البحار بالتقطير.

كذلك يذكر لنا التاريخ أن القائد الرومانى يوليوس قيصر كان يحصل على مياه الشرب لقواته بتبخير مياه البحر بواسطة أشعة الشمس.

وقد ظهرت أولى وحدات تحلية مياه البحر بالتقطير على سطح السفن التجارية فى نفس الوقت الذى استعمل فيه البخار كقوة محركة لهذه السفن، فكانت مياه البحر الملحة تسخن لدرجة الغليان فى أوعية خاصة فوق مراجل السفينة، ثم يبرد البخار الناتج فى أنابيب أو فى أوعية خاصة مغمورة فى ماء البحر لتكثيفه إلى ماء عذب.

وتعتبر طريقة تحلية مياه البحر بطريقة التقطير العادى، طريقة مرتفعة التكاليف، فهى تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة، وتصل هذه الطاقة إلى نحو ٦٠٠ وحدة حرارية للحصول على المتر المكعب من الماء العذب.

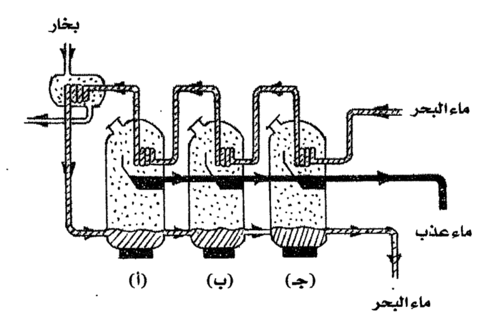
وقد استخدمت أكثر من طريقة لتحلية مياه البحار بواسطة التقطير، منها طريقة التقطير الومضى، وطريقة التقطير متعدد التأثير والمراحل، وطريقة ضغط البخار، وكذلك التقطير باستخدام الطاقة الشمسية.

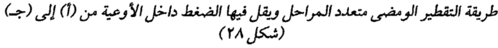
أ ـ التقطير الومضى:

تعرف هذه الطريقة كذلك باسم «التقطير الومضى متعدد المراحل» «Multistage Flash Distillation»، وهى تعتمد على التغير فى درجة غليان الماء بتغير الضغط الواقع على سطحه، فدرجة غليان الماء التى تبلغ ١٠٠° س تحت الضغط الجوى المعتاد، تقل عن ذلك كثيرا عند انخفاض الضغط الواقع على سطح الماء.

ويمر ماء البحر فى هذه الطريقة بعدة مراحل، بحيث يكون الضغط فى كل مرحلة أقل من المرحلة السابقة لها، وتبدأ هذه العملية بإدخال ماء البحر فى فرن تسخين خاص لرفع درجة حرارته إلى نحو ٩٠ - ١٠٠° س، ثم يمرر فى أولى هذه المراحل (شكل ٢٨ أ) التى تكون تحت ضغط مخلخل نسبيا، فيتبخر جزء من ماء البحر فى الحال، ولهذا سميت هذه الطريقة بطريقة التقطير الومضى.

أما ماء البحر الذى لم يتبخر فى المرحلة الأولى، فتنخفض درجة حرارته قليلا نتيجة لتبخر جزء منه، وهو يمرر بعد ذلك فى المرحلة التالية (شكل ٢٨ ب) التى يكون الضغط فى داخلها أقل من المرحلة الأولى (أ)، فيتبخر جزء آخر منه، وما يتبقى من هذا الماء الملح بعد ذلك يمرر فى المرحلة الثالثة (جـ) التى يكون الضغط فى داخلها كذلك أقل من المرحلة التى تسبقها (ب) وهكذا.




طريقة التقطير الومضى متعدد المراحل ويقل فيها الضغط داخل الأوعية من (أ) إلى (جـ)
(شكل ٢٨)



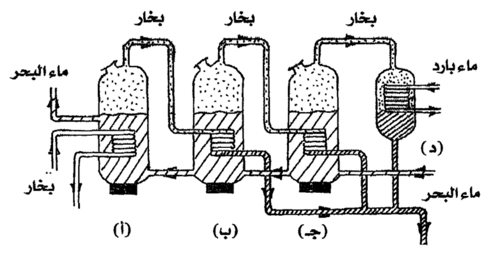
ويتكثف البخار المتصاعد فى كل مرحلة عند ملامسته لأنابيب التبادل الحرارى التى تحمل مياه البحر الباردة الداخلة إلى الأجهزة، ويخدم ذلك غرضان، الأول منهما هو تكثيف البخار المتصاعد فى كل مرحلة من المراحل إلى ماء عذب يتجمع فى جانب من وعاء كل مرحلة، والثانى منهما أن ذلك يساعد على رفع درجة حرارة ماء البحر البارد تدريجيا بمروره من المرحلة الثالثة إلى المرحلة الأولى قبل دخوله إلى فرن التسخين مما يساعد على سرعة عملية التقطير.

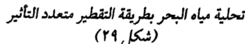
ومن الممكن أن تتكرر مراحل التقطير الومضى، وقد بنيت أولى معدات التقطير الومضى فى دولة الكويت عام ١٩٥٧، ثم انتشر استعمال هذه الطريقة بعد ذلك فى دول الخليج العربى الأخرى، ويتم بواسطتها حاليا تقطير نحو ٧٠ ٪ من احتياجات دول الخليج من الماء العذب.

ب ــ التقطير متعدد المراحل:

تعرف هذه الطريقة باسم «التقطير متعدد المراحل» «Multistagc Distillation» كما تعرف أيضا باسم الطريقة «متعددة التأثير» «Multieffect» وتتعدد كذلك فيها مراحل التقطير التى يتناقص فيها الضغط من مرحلة إلى أخرى.

ويستفاد فى هذه الطريقة من البخار الناتج فى كل مرحلة فى تسخين مياه البحر فى المرحلة التالية لها وهكذا، بحيث تسرى مياه البحر فى اتجاه معاكس لاتجاه البخار كما فى شكل (٢٩).




تحلية مياه البحر بطريقة التقطير متعدد التأثير
(شكل ٢٩)



وتبدأ هذه الطريقة بتسخين مياه البحر فى المرحلة الأولى (أ) بواسطة البخار العادى الآتى من محطة توليد البخار، ثم يمرر البخار المتصاعد من مياه البحر فى المرحلة الأولى (أ) فى أنابيب مغمورة فى مياه البحر الموجودة بالمرحلة الثانية (ب)، فترتفع درجة حرارة الماء ويتبخر جزء منه ويتصاعد ليمر فى أنابيب خاصة مغمورة فى مياه البحر فى المرحلة (جـ) وهكذا.

أما البخار الناتج من المرحلة الأخيرة فيتم تبريده فى النهاية بالماء البارد فى (د)، ويجمع الماء العذب الناتج من تكثيف البخار فى كل المراحل فى خط واحد من الأنابيب لاستعماله فى مختلف الأغراض.

أما مياه البحر المتبقية والتى يزداد تركيزها من مرحلة إلى أخرى فيتم التخلص منها من قاع المرحلة الأولى وترد إلى البحر.

وأهم ما يميز هذه الطريقة أنها تقلل إلى حد كبير من احتمالات تكون قشور من الأملاح على سطح الأجهزة المستعملة فيها.

جـ- التقطير بضغط البخار «Vapour Compression Distillation»:

عند وضع حجم معين من الغاز فى حيز مقفل، وتعريض هذا الغاز للضغط فإن حجم هذا الغاز يقل بزيادة الضغط الواقع عليه،كما أن درجة حرارة هذا الغاز تبدأ فى الارتفاع كلما زاد الضغط.

وإذا طبقنا ذلك على البخار، فإننا نجد كذلك أن حجم البخار يقل بزيادة الضغط الواقع عليه حتى نصل إلى مرحلة يتحول عندها البخار إلى سائل.

وتستغل هذه الخاصية فى طريقة تقطير مياه البحر بضغط البخار، فيسخن ماء البحر إلى درجة الغليان فى أوعية كبيرة معزولة تتحمل الضغط، ثم يزداد الضغط الواقع على هذا البخار بطريقة ميكانيكية، فيتكثف جزء من هذا البخار متحولا إلى ماء عذب.

ونظرا لأن زيادة الضغط الواقع على البخار يرفع من درجة حرارته فإن هذه الحرارة الناتجة تستغل فى تسخين مياه البحر الداخلة إلى الأجهزة ،وبذلك يستغنى عن أى مصدر خارجى للحرارة، بل يستغل الشغل الميكانيكى الناتج من حركة كباس الضغط فى رفع درجة حرارة الماء.

ولا تصلح هذه الطريقة لتحلية كميات كبيرة من مياه البحر، وهى لا تعطى أكثر من ٥٠٠ متر مكعب فى اليوم من محطة متوسطة الحجم، وذلك بسبب بعض الصعوبات التكنولوجية المتعلقة بحجم أجهزة الضغط الجوى التى يجب استعمالها فى مثل هذه المحطات.

د ـ استخدام الطاقة الشمسية فى تحلية الماء:

بدأ التفكير فى استعمال صور أخرى من صور الطاقة فى عمليات تحلية مياه البحار، عندما ظهرت مشكلة حظر البترول عام ١٩٧٣، وتحولت الأنظار فى ذلك الوقت إلى الطاقة الشمسية التى تتوافر فى كل مكان.

وفكرة استخدام الطاقة الشمسية فى تحلية الماء الملح، ليست بفكرة جديدة، فقد جاء ذكر ذلك فى كتاب باسم «التقطير الحر» «De distillatione libri Tx»، نشر عام ١٦٠٨، وذكر فيه مؤلف هذا الكتاب ويدعى «ديللابورتا» «J. B. Della Porta» كيفية استخدام حرارة الشمس فى تسخين المياه الملحة وجمع البخار الناتج منها بتكثيفه على سطح بارد على هيئة مياه عذبة تصلح للشرب.

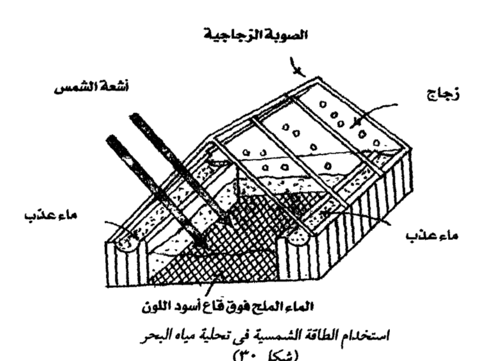
ولا يلزم تسخين المياه إلى درجة الغليان فى هذه الطريقة، ولكن يكتفى بتعريض سطح الماء لحرارة الشمس فى حيز مقفل، فتزداد نسبة بخار الماء فى الهواء الموجود فى داخل هذا الحيز المقفل، الذى يتحول بعد ذلك إلى ماء عذب خال من الأملاح عند ملامسته لأى سطح بارد.

ويستعمل لهذا الغرض ما يسمى «بجهاز التقطير الشمسى» «Solar Still»، ويتكون هذا الجهاز فى أبسط صوره من حيز مقفل على هيئة صوبة، يغطى قاعها بسطح أسود وتغطى قمتها بألواح من الزجاج فى وضع مائل، بينما تجرى على جانبيها قناتين لتجميع بخار الماء المتكثف، (شكل ٣٠).

وعند وضع قدر من ماء البحر فى هذا الحيز، فإن أشعة الشمس التى تخترق الغطاء الزجاجى للجهاز ترفع من درجة حرارة هذا الماء، ويساعد على ذلك أن السطح الأسود لقاع الجهاز يمتص جزءا كبيرا من حرارة الشمس من الأشعة الساقطة عليه.

ولا ترتفع درجة حرارة ألواح الزجاج التى تغطى الجهاز بنفس المقدار، ويؤدى هذا الفرق فى درجة الحرارة بين قاع الجهاز وألواح الزجاج إلى تكثف بخار الماء على هذه الألواح، الذى يظهر أولا على هيئة قطرات على السطح الداخلى للألواح، ثم تتجمع بعد ذلك فى القناتين الموجودتين على جانب الجهاز على هيئة ماء عذب يصلح للشرب.

ويعتمد معدل التبخر فى هذا الجهاز على درجة حرارة الماء المسخن بواسطة أشعة الشمس، وكذلك على درجة الرطوبة النسبية للجو المحيط بسطح التبخر، ولذلك فإن تكثف البخار على ألواح الزجاج فى هذا الجهاز يؤدى إلى نقص الرطوبة النسبية فى هذا الحيز ويزيد من معدل التبخر من سطح الماء.



استخدام الطاقة الشمسية فى تحلية مياه البحر
(شكل ٣٠)

ويزود الجهاز كل فترة بقدر جديد من ماء البحر، ويفضل دائما ألا يزيد سمك طبقة المياه الملحة على عدة سنتيمترات، لأن ذلك يساعد على سرعة رفع درجة حرارتها إلى حد معقول.

وقد أقيم أول جهاز من هذا النوع عام ١٨٧٠ فى شيلى، وأقامه مهندس إنجليزى يدعى «ويلسون» كان يعمل مشرفا على استخراج خامة النترات من بعض المناجم التى كانت تقع فى مناطق جبلية يندر بها وجود الماء العذب الصالح للشرب، وذلك للتغلب على مشكلة توفير المياه لنحو ٤٠٠٠ من البغال التى كانت تستخدم فى نقل خامة النترات.

وقد قام هذا المهندس ببناء صوبة زجاجية كبيرة بلغت مساحتها نحو ٤٤٦٠ متر، واستطاع بذلك أن يوفر نحو ٢٠ مترا مكعبا من الماء العذب الصالح للشرب.

وقد ظل هذا الجهاز الذى يعمل بطاقة الشمس مستخدما لمدة طويلة حتى عام ١٩٠٨، أى لمدة ٤٠ عاما على وجه التقريب.

ومن الملاحظ أن كفاءة هذه العملية محدودة إلى حد كبير، فهى لا تعطينا أكثر من ٥ لترات من الماء العذب فى اليوم لكل متر مربع من مساحة الأحواض التى توضع بها المياه.

وهناك بعض الوحدات التجريبية التى تعمل بهذا الأسلوب فى بعض الأماكن الصحراوية التى تتوافر بها أشعة الشمس القوية طوال اليوم، ومن أمثلتها الوحدة التى تعمل حاليا بمنطقة الحمراوين فى جمهورية مصر العربية على ساحل البحر الأحمر، وتبلغ طاقتها نحو ٦٠ مترا مكعبا من الماء الصالح للشرب فى اليوم، وتستعمل فيها مياه قليلة الملوحة تحتوى على نحو ٣٠ جرام فى اللتر.

ثالثا: تحلية ماء البحر بالتجميد:

تعتمد هذه الطريقة على ظاهرة طبيعية، وهى أن الماء الملح عند تبريده إلى درجة التجمد، تنفصل منه أولا بلورات من الثلج خالية تماما من الأملاح، وعندما نفصل هذه البلورات ونعيد صهرها، تعطينا ماء عذبا صالحا للشرب.

وتتم هذه العملية بشكل طبيعى فى المناطق القطبية، فجبال الجليد التى تطفو على سطح الماء فى هذه المناطق تخلو من الأملاح تماما وتعطى عند صهرها ماء عذبا صالحا للشرب.

ويمكن تحلية الماء الملح بهذا الأسلوب بتبريده إلى -٢° س، أى تحت الصفر المئوى بدرجتين، فتبدأ بلورات الثلج النقى فى الانفصال منه،بينما يزداد تركيز الملح فى الماء المتبقى.

ويستخدم هذه الطريقة سكان بعض المناطق القطبية مثل الإسكيمو، كما يستخدمها أفراد بعثات الاستكشاف التى تجوب هذه المناطق، وهى طريقة مثلى للحصول على مياه الشرب وطهو الطعام فى المناطق الباردة.

ولا تستهلك هذه الطريقة كميات كبيرة من الطاقة مثل بقية الطرق الأخرى التى سبق ذكرها،وخاصة طرق التقطير، فالحرارة الكامنة لتجمد الماء تقل كثيرا عن الحرارة الكامنة للتصعيد، ففى الحالة الأولى تبلغ الحرارة الكامنة لتجمد الماء ٨٠ كيلو سعر لكل كيلو جرام من الماء عند درجة الصفر المئوى، بينما تصل حرارة التصعيد إلى ٥٤٠ كيلو سعر لكل كيلو جرام من الماء عند ١٠٠° س.

وعلى الرغم من ذلك فإن هذه الطريقة ليست عملية تماما فى الوقت الحاضر، وخاصة أن هناك بعض الصعوبات التى تقابلنا عندما نحاول فصل بلورات الثلج عن الماء والملح المحيط بها.



نقل جبال الجليد العائمة:

فكر بعض المهتمين بتحلية مياه البحار فى استبدال طريقة التجميد سابقة الذكر، بنقل بعض جبال الجليد العائمة الكبيرة من بعض المناطق القطبية إلى بعض المناطق الأخرى التى تحتاج إلى الماء العذب والتى تقع على أطراف الصحراوات أو فى مناطق الجفاف الدائم.

وقد أجريت تجربة من هذا النوع بين عامى ١٨٩٠ - ١٩٠٠، وتم سحب بعض جبال الجليد الصغيرة بواسطة السفن من المنطقة القطبية إلى «سان رفاييل» بشيلى وإلى سواحل بيرو، وقطعت بعض هذه الجبال الجليدية مسافات طويلة وصلت إلى نحو ٣٩٠٠ كيلو متر.

وقد راودت نفس هذه الفكرة بعض القائمين على تحلية المياه فى المملكة العربية السعودية عام ١٩٧٧، وتم فى ذلك الحين دراسة مشروع لنقل جبل ضخم من الجليد يزن نحو مائة مليون طن، من القطب الجنوبى إلى ميناء جدة على البحر الأحمر.

وقد بينت الدراسة أن أربع سفن قاطرة يمكن لها أن تسحب هذا الجبل العائم بعد تغطيته بغطاء من البلاستيك حفظا لحرارته ولتقليل الكمية التى تنصهر منه فى أثناء هذه الرحلة الطويلة التى يصل طولها إلى نحو ٧٠٠٠ كيلو متر، والتى قد تستغرق نحو ستة أشهر أو أكثر.

وقد اتضح من هذه الدراسة أن تكلفة المتر المكعب من الماء العذب الناتج من انصهار هذا الجبل الضخم من الجليد، بعد وصوله إلى ميناء جدة، تصل إلى نحو ٢,٥ فرنك فرنسى بأسعار ذلك الوقت (عام ١٩٧٧)، وهى تكلفة لا بأس بها؛ لأنها تقل كثيرا عن التكلفة الحقيقية لتحلية مياه البحر بطريقة التقطير.

وهناك بعض الصعوبات التى تكتنف هذه العملية، والتى يتطلب الأمر التغلب عليها لضمان نجاح هذه الطريقة فى توفير المياه العذبة.

وأهم هذه الصعوبات أن أغلب جبال الجليد الضخمة العائمة، عادة ما تكون هشة وغير متماسكة، وقد تتفتت إلى وحدات صغيرة فى أثناء سحبها بالسفن خلال هذه المسافات الطويلة.

كذلك فإن جزءا من جبل الجليد العائم قد ينصهر قبل بلوغ نهاية رحلته مما يرفع كثيرا من تكلفة المتر المكعب من الماء العذب الناتج منه.

وهناك كذلك بعض الصعـوبات الأخرى التى يتعلق بعضها بحـجم جبل الجليد المطلوب، فـمن المعروف أن نحو ٨٠ - ٩٠٪ من حـجم جبل الجليد يكون مـغمورا تحت سطـح الماء، وعلى ذلك فـإن أى جبل جليـدى بمثل هذه الضـخامة المـطلوبة سيكون غائصا فى الماء إلى عمق كبير، وقد لا يمكن سحب جبل جليدى بهذا الحجم فى مياه البحر الأحمر قليلة العمق لتوصيله إلى ميناء جدة السعودى.

ويضاف إلى كل ذلك صـعوبة أخرى تتعلق بكيـفية نقل المياه العـذبة من الجبل الجليدى المنصهر إلى الشاطئ لتوزيعها على المدن أو على الناس.

وقد أدت كل هذه الصعوبات إلى ترك هذا المشروع وعدم تنفيذه إلى يومنا هذا.

الموقف الحالى لعمليات تحلية المياه:

هناك اليوم بعض المنشآت بالغة الضخـامة التى تعمل على تحويل مئات الألوف من الأمتار المكعبة من المياه المالحة إلى المياه العذبة الصالحة للشرب.

وتنتشر هذه المنشآت أو محطات تحلية مـياه البحر فى كل القارات، ومن أمثلتها المحطـات المقامة فى الـسعودية والكويت وقـطر، وكذلك بعض المـحطات الأخرى المقامة بالجـزائر ومصر وتونس، وفى بعض مناطق الولايات المـتحدة وجنوب الاتحاد السوفيتى وغيرها.

وتستـعمل طريـقة الضغـط الأسموزى العـكسى فى الولايات الـمتحـدة لإنتاج ٣٨٠,٠٠٠ متر مكعب من المـاء العذب يوميا، لتحسين مياه نـهر كولورادو التى تبلغ درجة ملوحـتها ١,٢ جرام فى اللتـر، وكذلك فى المشروع الـسعودى بمنطقة الـجبيل لإنتاج مليون متر مكعب من الماء العذب فى اليوم.

وتعتبر طـريقة التقطير الومضى هى الـطريقة التى يعم استخدامـها حتى الآن فى تحلية ميـاه البحر، وهى تمثل اليوم نحـو ٧٠ ٪ من عمليات تحلية الماء عـلى مستوى العالم، ففى الكويت يـتم تحلية نحو ١٨ مليون لتر من المـاء فى اليوم، وعلى شاطئ «مندلاى» بكاليفورنيا بالولايات المتحـدة توجد وحدة تقطر نحو ٣٨٠ ألف لتر من ماء المحيط يوميا لاستعمالها فى إحدى محطات القوى.

وتوجد بعض مـحطات تحلية الماء فى كثـير من الجزر، كما فى جـزيرة مالطة وجزر الكنارى وجزر بحـر إيجة، وفى جزيرة «أروبا» «Aruba» بالبحر الكاريبى توجد وحدة تنتج ١٣ مليون لتر من الماء العذب فى اليوم، كـما توجد وحدة تحلية احتياطية فى جـزيرة «جيـرنسى» «Guernsey» فى بحر الشـمال عند مدخل القنـال الإنجليزى للاستعمال عند توقف سقوط الأمطار وللمساعدة على رى المحاصيل.

وتقوم كثير من الدول المهتمة بعمليات تحلية مياه البحر، بجهد وافر لتطوير البحوث الخاصة بهذه العمليات، كما أنشأت بعض هذه الدول هيئات خاصة للإشراف على هذه البحوث، ففي الولايات المتحدة هناك مكتب خاص لبحوث وتكنولوجيا الماء «Office Of Water Research Technology» واختصاره «OWRT»، كذلك يوجد في اليابان مركز خاص يعرف باسم مركز إعادة استخدام الماء «Water Re - use Center».

كذلك تشرف هيئة الطاقة النووية في بريطانيا «UKAEA» على مثل هذه البحوث بينما تشرف الوزارة الفيدرالية للبحوث في ألمانيا ولجنة الدولة للطاقة النووية على البحوث الخاصة بتحلية المياه.

وما زالت هناك بعض الصعوبات في طرق التقطير المستخدمة لتحلية مياه البحر، فهذه الطرق معقدة إلى حد كبير، كما أنها مرتفعة التكاليف، وتحتاج إلى أيدى ماهرة ومدربة لإدارتها.

كذلك تزداد احتمالات التآكل الناتجة عن ترسيب الأملاح على الأسطح الداخلية لأجهزة التقطير وخاصة في درجات الحرارة العالية، فأخطر ما يواجه عمليات إعذاب الماء هو التآكل وانسداد الأنابيب.

وتتكون القشور على سطح المعدن نتيجة لتكرار ترسيب الأملاح على هذا السطح فتتكون طبقات متتالية من الملح بعضها فوق بعض ويزداد سمكها بمرور الوقت وقد تسبب انسداد الأنابيب.

وتتكون هذه القشور بصفة رئيسية من كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم وهدروكسيد المغنسيوم، ويؤدى ظهور هذه القشور إلى قلة كفاءة عمليات التبادل الحرارى وزيادة استهلاك الطاقة فتقل بذلك كفاءة العملية ككل، وقد تنخفض كفاءة التجهيزات في بعض الأحيان لهذا السبب بنسبة ٤٠٪ في وقت قصير.

وهناك اعتقاد بأن تحلية المياه بطريقة ضغط البخار ستتفوق مستقبلا على كل عمليات التقطير الأخرى بعد أن تحل بعض الصعوبات المتعلقة بتشغيلها على نطاق كبير.

وتهدف أغلب البحوث المتعلقة بتحلية مياه البحار، إلى خفض سعر تكلفة المتر المكعب من الماء مع خفض الطاقة المستهلكة في هذه العمليات، ومن المفترض أننا يجب أن نستهلك ٢,٨ كيلو وات ساعة من الكهرباء للحصول على نحو ٤٠٠٠ لتر من الماء العذب، ولكن الطاقة المستعملة عمليا تزيد كثيرا عن ذلك حتى



الآن،ولا شك أن خفض استهلاك الطاقة سيقلل كثيرا من حجم الاستثمارات المطلوبة لتحلية المياه الملحة.

وحتى الآن لم يتحقق لنا استعمال المياه العذبة الناتجة من تحلية مياه البحر فى أغراض الزراعة والرى، فما زالت تكاليف هذه المياه العذبة أعلى من أن تسمح باستخدامها فى هذه الأغراض.

وهناك بحوث تتعلق باستعمال مواد جديدة فى بناء التجهيزات المطلوبة، مثل استخدام أنواع خاصة من الأسمنت فى بناء أبراج التقطير بدلا من بعض الأنواع الخاصة من الصلب عالية التكلفة والمستخدمة الآن.

كذلك تدور بعض هذه البحوث حول إمكانية استعمال سبائك جديدة ورخيصة التكاليف من سبائك الألومنيوم لبناء المبادلات الحرارية بدلا من استخدام النحاس فى بنائها.

وتتناول بعض هذه البحوث كذلك إمكانية استخدام مصادر جديدة للطاقة أقل تكلفة من المصادر الحالية، مثل استعمال الطاقة الشمسية بصورة أفضل أو استعمال حرارة باطن الأرض أو الفرق فى حرارة طبقات مياه البحار.

كذلك يدور البحث حاليا لتطوير طريقة الضغط الأسموزى العكسى، وذلك بابتكار أنواع جديدة من الأغشية ذات النفاذية العالية، مما قد يسمح لها بالعمل تحت ضغوط قليلة نسبيا، ولا شك أن هذا سيقلل من الطاقة اللازمة للاستخدام فى هذه العمليات ويزيد من صلاحيتها لتحلية كميات كبيرة من مياه البحار.



الباب الرابع

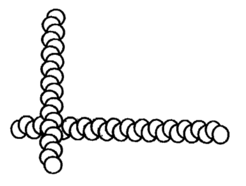
أثر الماء فى البيئة وتلوثه

الفصل الحادى عشر

أثر الماء فى البيئة

الفصل الثانى عشر

تلوث الماء





الفصل الحادى عشر

أثر الماء فى البيئة

تعمل المياه فى حركتها الدائبة على نحت وجه الأرض، فهى قد تفتت بعض الصخور وتذيب جزءا من مكوناتها، وتنقل الطمى من مكان لآخر، وتعرى الجبال، وتنشئ الأنهار، وتملأ المنخفضات، وتكوّن البحيرات، وتنخر فى الشواطئ، وتسوى التضاريس، وهى فى بعض الأحيان قد تكون بالغة القوة شديدة الأثر،وخاصة فى حالة العواصف والفيضانات والتيارات البحرية العنيفة.

وتعتبر مياه الأمطار عاملا رئيسيا من عوامل التعرية، وهى تؤثر بشكل واضح فى سطح الأرض.

ولمياه الأمطار فعلان رئيسيان، أحدهما فعل كيميائى ينتج من تفاعل بعض محتويات ماء المطر مع سطح التربة، والآخر فعل ميكانيكى ينتج عن حركة مياه المطر فوق سطح التربة.

الفعل الكيميائى للماء:

ينتج الفعل الكيميائى لمياه الأمطار من أن هذه المياه لا تكون نقية تماما فى أغلب الأحوال، ولكنها كثيرا ما تذيب فى أثناء سقوطها بعض الغازات أو الشوائب الموجودة فى الهواء.

وعادة ما تذيب مياه الأمطار فى أثناء سقوطها بعض الأكسچين والنتروچين وثانى أكسيد الكربون، وقد تصل نسبة وجود غاز ثانى أكسيد الكربون فى ماء الأمطار فى بعض الأحيان إلى ٣٠ أو ٤٠ مرة قدر نسبة وجوده فى الهواء.

وقد تحتوى مياه الأمطار على بعض الغازات الأخرى الذائبة فيها مثل أكاسيد النتروچين وغاز ثانى أكسيد الكبريت، وهى أكاسيد حمضية،أى أنها تكون أحماضا فى وجود الماء، ولذلك تعرف الأمطار المحملة بهذه الأكاسيد باسم الأمطار الحمضية، وهى تسبب كثيرا من الأضرار لتربة الأرض وللبيئة بأكملها.

وقد تنبه الإنسان إلى خطورة هذه الأمطار الحمضية وأثرها المدمر للبيئة عام ١٩٦٧، ولكنه لم يعرف السبب الحقيقى وراء نشأة هذه الأمطار، وكان الاعتقاد السائد أنها تنشأ نتيجة لذوبان بعض الغازات الحمضية المتصاعدة من البراكين فى مياه المطر، أو ذوبان بعض الغازات الأخرى الناتجة من حرائق الغابات، أو من بعض الغازات التى تنتج من تحلل أجساد النباتات والحيوانات بفعل البكتريا.

وقد بينت الدراسات الحديثة أن نسبة الأمطار الحمضية قد زادت كثيرا فى النصف الثانى من هذا القرن، وأن السبب الحقيقى وراء هذه الأمطار الحمضية، هو الإفراط فى حرق مختلف أنواع الوقود، مثل الفحم، والبترول، فى محطات القوى وفى المراكز الصناعية، وفى وسائل المواصلات الحديثة.

وينتج عن إحراق هذه الكميات الهائلة من الوقود، تكون كميات ضخمة جدا تصل إلى ملايين الأطنان من الغازات الحمضية الضارة، مثل ثانى أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهدروچين، وبعض أكاسيد النتروچين، بالإضافة إلى بعض آثار من الفلزات الثقيلة السامة، مثل الكادميوم والزئبق، والتى تتطاير مع الرماد الذى تحمله غازات الاحتراق لينتشر فى الهواء.

وتتفاعل هذه الغازات مع بخار الماء الموجود فى الهواء، وفى وجود أكسچين الهواء وتحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية، لتعطى أحماضا قوية، فيتحول غاز ثانى أكسيد الكبريت وكبريتيد الهدروچين إلى حمض الكبريتيك، وتتحول أكاسيد النتروچين إلى حمض النتريك.

وعندما يكون الجو جافا، فإن هذه الأحماض الناتجة تنتشر فى الهواء على هيئة رذاذ دقيق، يبقى معلقا فى الهواء الساكن، وقد يظهر أحيانا على هيئة ضباب خفيف له طعم لاذع.

وتسقط هذه الأحماض فى الجو الرطب على هيئة أمطار حمضية أو قد تسقط مع الثلج فى الجو البارد، وتبقى مختلطة ببلوراته التى تكسو سطح الأرض.

وللأمطار الحمضية آثار ضارة كثيرة، فهى قد تتفاعل مع بعض المكونات القلوية للتربة وتغير تركيبها، فتقلل بذلك من صلاحية التربة للزراعة، وقد تسبب تفتت بعض الصخور، كما قد تتسبب فى إذابة بعض المركبات الهامة لنمو النباتات، مثل أملاح الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم، وتحملها معها إلى المياه الجوفية العميقة بعيدا عن جذور النباتات، مما قد يؤدى إلى تلف كثير من المحاصيل الزراعية الموجودة بالتربة.

كذلك تؤدى الأمطار الحمضية إلى تغيير طبيعة المياه فى البحيرات المقفلة مما قد يقضى على ما بها من كائنات حية من نبات أو حيوان، وهناك مئات من هذه البحيرات فى منطقة «أونتاريو» بكندا تحولت مياهها من مياه متعادلة، إلى مياه حمضية نتيجة لسقوط الأمطار الحمضية عليها بصفة مستمرة، وقد خلت هذه البحيرات تماما من الأسماك ومن أغلب الكائنات الحية الأخرى.

وتعانى كذلك كل من ألمانيا والسويد من هذه الأمطار الحمضية، ففى السويد تحولت نحو ٢٠ ٪ من بحيراتها إلى بحيرات حمضية، أما فى ألمانيا، فهى تخسر ما قيمته ٨٠٠ مليون دولار سنويا من أخشاب الغابات بسبب هذه الأمطار الحمضية، بالإضافة إلى ما تخسره من المحاصيل الزراعية الأخرى.

كذلك قد تؤثر الأمطار الحمضية على مياه الشرب، فهى قد ترفع من نسبة حموضة المياه فى خزانات السدود، وقد تؤدى إلى صدأ كثير من المعدات المستعملة فى هذا الغرض، كما أنها قد ترفع من نسبة الفلزات الثقيلة فى المجارى المائية التى تؤخذ منها مياه الشرب نتيجة لإذابتها لبعض هذه الفلزات من سطح التربة ثم تحملها معها بعد ذلك إلى الأنهار أو البحيرات، أو إلى المياه الجوفية تحت سطح الأرض.

وتؤثر الأمطار الحمضية أيضا على المدن وعلى التجمعات الحضرية، فهى قد تؤدى إلى تفتت أحجار المبانى وإلى تآكل بعض النصب والتماثيل.

ويمكن مشاهدة تآكل أحجار المبانى فى مدينة لندن فى كل من برج لندن وكنيسة سانت بول، فقد تآكل جزء من جدران هذه الكنيسة التى أقيمت عام ١٧٦٥، وهى جدران مغطاة بالحجر الجيرى، وبلغ عمق هذا التآكل فى بعض الأجزاء نحو ١٢ سنتيمترا.

ولا تقتصر ظاهرة الأمطار الحمضية على أوربا وأمريكا فقط، ولكن تعانى منها كذلك بعض البلاد الأخرى مثل الاتحاد السوفيتى والصين، وغيرها، ولذلك فقد عقد اتفاق دولى فى چنيف بسويسرا عام ١٩٧٩ وقعت عليه ٣٣ دولة، وتعهدت فيه كل منها بالسيطرة على ظاهرة التلوث وظاهرة الأمطار الحمضية، وذلك بالتحكم فى نوعية الغازات المتصاعدة فى الهواء من كل من وسائل النقل ومحطات القوى والتجمعات الصناعية الأخرى.

ولا يجب الاستهانة بكميات الغازات الحمضية المتصاعدة من مداخن المصانع فى المناطق الصناعية، فتقدر الحكومة الكندية كمية الأحماض التى تحملها الأمطار

الحمضيـة لتسقطها على أراضيهـا بنحو ١٢ مليون طن كل عام، وتقدر كـمية غاز ثانى أكسيد الكبريت الناتجة من حرق الوقود فـى المصانع الأمريكية والتى تنطلق إلى الهواء بنحو ٢٤ مـليون طن فى العام، وتـذوب هذه الكميات الهـائلة من هذا الغاز فـى مياه الأمطار، وتتساقط بعد ذلك على سطح الأرض ممثلة خطرا داهما على التربة وعلى كل ما يعيش عليها من كائنات.

وهناك تركيز خـاص على غاز ثانى أكسيد الكـبريت فهو يعتبر الـمكون الرئيسى للأمطـار الحمـضيـة، وهو يتكـون دائما عنـد حرق أغلـب أنواع الوقود مـثل الفـحم والجازولين والسولار والمازوت، فجميعها تحتوى على نسبة من مركبات الكبريت التى تتحول عند إحراق الوقود، إلى غاز ثانى أكسيد الكبريت سريع الذوبان فى الماء.

وحتى فى حالة الأمطار الـعادية، فإن الأكسچين الذائب فى مياهـها يساعد على أكسدة بعض المـركبات الكيميائية المـوجودة بالتربة، كما أن غاز ثانى أكـسيد الكربون الذائب فى ميـاه الأمطار يؤدى إلى تآكل الأحجار الجـيرية فهو يحولهـا من الكربونات التى لا تذوب فى الماء إلى البيكربونات سهلة الذوبان فى الماء.

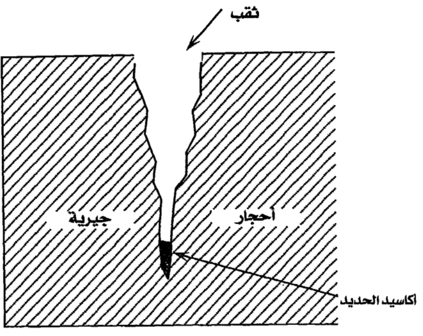
ويمكن مـلاحظة الفعـل الكيميـائى لغار ثـانى أكسيـد الكربون الذائب فى مـياه الأمطار بوضـوح فى بعض الأماكن، فـفى يوغوسلافـيا توجد ثـقوب كبيـرة فى بعض الصخور الجيرية تظـهر على شكل أقماع متسعة الفوهة، ضيـقة القاع، وقد يصل عمق هذه الثقوب فى بعض الأحيان إلى نحو ١٦٠ مترا.

وتحتوى أغلـب هذه الثقوب فى قاعهـا على تربة حمراء اللون تتكون أساسا من أكسيد الحديد، وتنـشأ هذه الثقوب عن ذوبان الأحجار الجيرية فى مـياه الأمطار، بينما تتبقى أكـاسيد الحديد التى لا تقبل الـذوبان وتظهر على هيئة رواسب فـى قاع الثقوب (شكل ٣١).

وحتى الصخور النارية الصلبة مثل صخور الجرانيت، تتأثر بمياه الأمطار فتتفكك هذه الصخور تدريجيا وتصبح هشة ويمكن انكسارها بسهولة.

وهناك بعض التغيـرات الأخرى التى قد تحدث للصخور، فـبعض هذه الصخور يمتص مياه المطر ويكون هدرات، أى أن هذه الصخور قد تتحول من صورتها اللامائية إلي صورتـها المائـية التى يدخـل فى تركيـبها المـاء، ومن أمثلـة ذلك تحول مـعدن الأنهدريت إلى الجبس المـعروف عندما يمتص ماء المطر، ويزداد حجمـه نتيجة لذلك بنسبة كبيرة تصل إلى نحو ثلث حجمه الأصلى.





الثقوب التى تتكون فى الأحجار الجيرية نتيجة للفعل الكيميائى لمياه الأمطار
(شكل ٣١)

الفعل الميكانيكى للماء:

يشاهد الفعل الميكانيكى للماء فى كثير من الأماكن، فعند سقوط الأمطار الغزيرة تتساقط قطرات الماء كبيرة الحجم بقوة كبيرة على سطح الأرض وتحدث فيه حفرا متفاوتة الأحجام.

كذلك يتسبب تحرك مياه الأمطار الغزيرة على هيئة سيول، فى كشط الطبقة السطحية للتربة من مكان لآخر، مما يقلل من صلاحية التربة للزراعة، وقد تحمل السيول هذه الطبقة الغنية من التربة معها إلى الأنهار والبحيرات.

ويقل هذا الفعل الميكانيكى لمياه الأمطار كثيرا عند وجود بعض النباتات، ولهذا فإن قطع أشجار الغابات يتسبب فى زيادة الفعل الميكانيكى للمياه فى التربة السطحية ويقلل كثيرا من صلاحية هذه التربة للزراعة على المدى الطويل.

وهناك أماكن كثيرة فى أفريقيا وأيضا فى سوريا وتركيا واليونان، أدى قطع ما بها من أشجار إلى إزالة الطبقة السطحية للتربة بواسطة مياه الأمطار بعد مدة من الزمن.

وتؤدى السيول الناتجة عن الأمطار الغزيرة إلى أضرار أخرى فى بعض الأحيان، فقد تتسبب هذه السيول فى تفتيت الصخور وتحمل معها كثيرا من الفتات وكميات كبيرة من الطمى وتدمر كل شىء فى طريقها.

وقد حدث ذلك فى إيطاليا عام ١٩١١، عندما سقطت أمطار غزيرة على المناطق المحيطة ببركان فيزوف، وتحولت بعد ذلك هذه الأمطار إلى سيول عارمة حملت معها كميات هائلة من الطمى وبقايا الحمم، وحطمت كل شيء فى طريقها.

وقد بلغ من قوة هذه السيول وعنفها، أن إحدى قرى هذه المنطقة وتدعى «رسينا» «Resina» اكتسحتها السيول المحملة بالطمى، وبلغ ارتفاع الطين فى شوارعها إلى مستوى نوافذ الأدوار الأولى من المنازل، واكتسح هذا الطين فى طريقه الخيول والأبقار وأثاث المنازل، وأدى إلى تحطيم أغلب الأشجار وإلى إصابة الزراعات والبساتين بالتلف، كما أدت هذه السيول إلى اقتلاع بعض المنازل من أماكنها تماما تحت ضغط المياه المحملة بالطين.

وقد تتسبب مياه الأمطار الغزيرة فى حدوث بعض الانهيارات الجبلية، فقد تنفصل كتل كبيرة من صخور الجبال تحت وطأة هذه المياه.

ومن أمثلة هذه الانهيارات ما حدث فى ولاية «ألبرتا» بكندا عام ١٩٠٣، فقد أدت مياه الأمطار الغزيرة إلى حدوث بعض الانهيارات فى جبال المنطقة، وبلغ حجم الصخور المنهارة نحو ٣٠ مليون متر مكعب، وأيضا ذلك الانهيار الذى حدث فى «ويومنج» بالولايات المتحدة عام ١٩٢٥، وبلغ حجم الصخور المنهارة والتى انزلقت إلى الوادى القريب من الجبل نحو ٣٨ مليون متر مكعب، ونتج عن هذه الانهيارات أضرار شديدة لسكان هذه المناطق.

وعندما تتسرب مياه الأمطار فى شقوق الصخور تتجمد هذه المياه ليلا فى أيام الشتاء الباردة ويزداد حجمها، وتساعد بذلك على تفتيت الصخور مما يجعلها عاملا هاما من عوامل التعرية.

ويسبب سقوط الثلج كذلك كثيرا من الأضرار للبيئة، فقد يؤدى تراكم طبقات سميكة من الثلج إلى تلف بعض المحاصيل الزراعية، كما أن تراكم الجليد فوق سطح الطرقات يعطل وسائل المواصلات، كما أن كثيرا من فروع الأشجار قد تنكسر تحت ثقله، وقد يتسبب أيضا فى قطع بعض أسلاك التليفون أو أسلاك الكهرباء.

أما بالنسبة للبَرَدَ، وهو عادة ما يسقط فى فصل الصيف، فقد تؤدى كراته كبيرة الحجم إلى تحطيم زجاج نوافذ المنازل أو إتلاف بعض أجزاء التماثيل أو أسطح السيارات، وقد تؤدى كذلك إلى إصابة الحيوانات والإنسان بإصابات مختلفة، وتسبب كثيرا من الضرر للمحاصيل والزراعات.



ومن أشهر حوادث البَردَ، ذلك الوابل الشديد الذى سقط على منطقة «روستوف» «Rostov» بالاتحاد السوفيتى السابق فى يوليو عام ١٩٢٣، وقد أدى ذلك إلى موت ٢٣ شخصا، وتسبب فى قتل كثير من حيوانات الرعى.

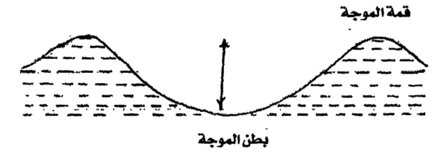
وكلما كبر حجم كرات البَردَ زادت الأضرار الناتجة عنها، ومن أكبر كرات البَردَ المعروفة، كرة سقطت فوق «نبراسكا» بالولايات المتحدة عام ١٩٢٨، وكانت تزن نحو ٦٨٠ جراما، وبلغ قطرها ١٣ سنتيمترا.

وتؤدى الأمطار الغزيرة فى بعض الأحيان إلى فيضان بعض الأنهار مما يتسبب فى إغراق الأراضى المحيطة بهذه الأنهار ويشبه فعل مياه الفيضانات الشديدة فعل السيول فى كثير من الأحيان.

أمواج البحار:

تتسبب الرياح الشديدة فى هياج البحار وارتفاع أمواجها،وخاصة عندما تبلغ هذه الرياح حد العاصفة.

ويقاس ارتفاع الأمواج بالمسافة التى تفصل بين بطن الموجة وبين قمتها كما فى (شكل ٣٢).



يقاس ارتفاع الموجة بالمسافة التى تفصل بين قمة الموجة وبطنها
(شكل ٣٢)

وقد يصل ارتفاع أمواج البحر إلى حدود كبيرة فى حالة العواصف، وقد يصل ارتفاعها إلى نحو ١٥ مترا فى كثير من الأحوال.

وهناك قصص تروى عن أمواج يصل ارتفاعها إلى أكثر من ذلك،فقد ذكر أحد ضباط السفينة البريطانية «ماجستيك» «Mgestic» أنه شاهد أمواجا يصل ارتفاعها إلى نحو ٢٠ مترا عندما قابلتهم عاصفة شديدة فى شمال الأطلنطى فى ديسمبر ١٩٢٢.

كذلك روى بحارة السفينة الأمريكية «رامابو» «Ramapo» أنهم شاهدوا أمواجا يصل ارتفاعها إلى ٣٠ - ٣٤ مترا فى أثناء عاصفة بحرية فى فبراير ١٩٣٣.

وتعتبر هذه الأمواج العالية خطرا داهما بالنسبة لكثير من السفن الصغيرة، كما أنها عندما تبلغ الشواطئ تسبب أضرارا كبيرة، فهى تضرب المنشآت المقامة على الشواطئ بقوة هائلة، وتستطيع فى بعض الأحيان أن تحمل معها صخورا تزن عدة أطنان وتلقيها على الشاطئ.

وقد درجت بعض السفن على إلقاء الزيت على سطح الماء عند هياج البحر، خاصة فى أثناء عمليات الإنقاذ عند غرق سفينة ما فى ماء البحر، ويكوّن هذا الزيت طبقة رقيقة جدا فوق سطح الماء، وقد لا يزيد سمك هذه الطبقة على سمك جزىء واحد من جزيئات الزيت.

وتقوم هذه الطبقة الرقيقة بالحد من امتداد سطح الماء وتضاغطه، وهو ما يحدث عادة فى حالة تموج ماء البحر، وبذلك تقلل من ارتفاع الموج وتساعد على تهدئة حركة الماء، ولكن هذه الطريقة قد تصلح فى حالة الأمواج التى يقل ارتفاعها عن المتر على وجه التقريب، ولكنها لا تصلح لتهدئة الأمواج العالية التى تحدث فى أثناء العواصف الشديدة.

وتحدث أمواج البحر فى بعض الأحيان فى ظروف خاصة، عندما يحدث تغير كبير فى كثافة مياه البحر من منطقة إلى أخرى، وتعرف هذه الأمواج باسم «الأمواج الداخلية» «Internal Waves»، وهى عادة ما تكون بطيئة الحركة ومتوسطة الارتفاع.

أمواج المد: Tidal Waves

يطلق هذا الاسم على أمواج البحر التى تنشأ عن حدوث الزلازل وما قد يصاحبها من تحركات فى قاع البحر، أو نتيجة لانفجار بعض البراكين.

وهذه الأمواج لا علاقة لها، فى حقيقة الأمر، بتيارات المد والجزر التى تحدث فى مياه البحار بتأثير قوى جذب كل من القمر والشمس عليها فى أثناء دوران الأرض.

وعادة ما يكون ارتفاع هذه الأمواج كبيرا، كما أنها تنتقل لمسافات كبيرة وبسرعة عالية جدا. وعندما تتكون هذه الأمواج فى عرض البحر لا يزيد ارتفاعها على المتر على وجه التقريب، ولا يمكن ملاحظتها من السفن التى تمخر البحر، ولكن عندما تصل هذه الأمواج إلى الشواطئ، تتضخم بشكل هائل، وقد يصل ارتفاعها عند اصطدامها بالشاطئ، خاصة فى شواطئ الخلجان والموانئ إلى ١٠ أمتار أو أكثر.

وتصطدم هذه الأمواج بأرض الشـواطئ بقوة هائلة وتكتسح كل مـا فى طريقها، وقد تحمل مـعها بعض السفن الصغـيرة إلى داخل الأرض، وقد تدمر القرى السـاحلية تدميرا تاما.

ومن أمثلة هذه الأمواج، تلك الأمواج الهائلة التى نتجت عن زلزال «كاماتشاتكا» « Kamachatka» فى الجزء الشمـالى الشرقى من آسيا فى نوفـمبر ١٩٥٢، والتى أدت إلى تدمير عدة جزر فى المحيط الهادى.

كذلك أدى انفجار بركان «كراكاتوا» «Krakatoa» فى إندونيسيا عام ١٨٨٣، إلى حدوث موجة مد هائلة، بـلغ ارتفاعها نحو ٣٠ مترا، وتسببت هـذه الموجة الهائلة فى تدمير نحو ٣٠٠ قرية، وقتلت أكثر من ٣٥٠,٠٠٠ من الأفراد.

ومن المعتقد أن مـوجة مد هائلة من هذه الموجات كانت هى السـبب فى انتهاء حضارة قديمة تعرف باسم حضارة «Minoons» كانت قائمة فى جزيرة كريت فى القرن الخامس عشر قبل الميلاد.

ومن المـلاحظ أنه عند اقـتراب موجـة المد من الـشاطئ، يبـدأ ماء البحـر فى الانحسار، وتنكشف بذلك أجزاء من قاع المحيط لم تكن ترى من قبل.

وتغرى هذه الظاهرة بعض الناس بارتياد هـذه الأماكن الجديدة التى انكشفت من الساحل؛ وذلك حبـا فى الاستطلاع،دون أن يعلموا أن ذلك سيكون سبـبا فى موتهم، فسرعان ما تداهمهم موجة المد الهائلة وتنهى حياتهم فى الحال.

وينصح الخبراء أنه عنـد مشاهدة هذه الظاهرة التى ينحسر فيـها الماء عن شاطئ البحر، يجب على كل الـناس أن يبتعدوا بكل سرعة ممكنة عـن الشاطئ والالتجاء إلى أجزاء الأرض العالية.

وتبلغ سرعة موجة المد فى عرض البحـر نحو ٨٠٠ كيلو متر فى الساعة، وهى سرعة كبيرة جدا، ومع ذلك فعادة ما يـكون هناك فاصل زمنى بين اللحظة التى يحدث فيها الزلزال، وبين الوقت الذى تصل فيه مـوجة المد إلى الشاطئ، وتستخدم الولايات المتحدة هذا الفـاصل الزمنى الذى قد يصل إلى عدة ساعات فى إنـذار سكان شواطئها الغربيـة بالزلازل التى تقع فى المـحيط الهادى، حتى يتـمكنوا من اتخاذ الاحـتياطات الواجبة، وخاصة فى المناطق الساحلية المعرضة لموجات المد.



أثر الماء فى الجو

أهم العوامل التى تتحكم فى حالة الجو هى الشمس والرياح والماء.

وتوفر الشمس الطاقة التى تدفع الرياح وتحركها، وهى التى ترفع درجة حرارة مسطحات المياه في البحار والمحيطات.

وتبلغ الطاقة الشمسية التى تسقط على سطح الأرض حدا هائلا، فيبلغ ما يسقط منها على الأرض فى أسبوع واحد أكثر من كل الطاقة الناتجة من إحراق كل مشتقات البترول والفحم والخشب التى قام الإنسان باستخدامها منذ اكتشافه للنار حتى الآن.

ولا تمتص الأرض كل أشعة الشمس الساقطة عليها، ولكن جزءا من هذه الطاقة ينعكس مرتدا من سطح الأرض ويتشتت فى الفضاء، ومع ذلك فإن جزءا لا بأس به من طاقة الشمس يقوم سطح الأرض بامتصاصه وتمتصه بصفة خاصة مياه البحار والمحيطات.

وتمتص المياه قدرا كبيرا من حرارة الشمس فى مناطق خط الاستواء والمناطق المحيطة بها، بينما تشع الأرض جزءا من حرارتها عن طريق كل من القطب الشمالى والقطب الجنوبى، وهى مناطق تصلها أشعة الشمس بزاوية منفرجة تقلل من طاقتها الحرارية.

وهناك نوع من التوازن بين القدر الذى تمتصه الأرض من طاقة الشمس، والجزء الذى تشعه وتعيده مرة أخرى إلى الفراغ المحيط بها.

ولو أن امتصاص الأرض للطاقة الحرارية للشمس كان أكبر، مما تشعه منها، لارتفعت درجة حرارة سطح الأرض يوما بعد يوم وعاما بعد عام ولأثّر ذلك على حياة مختلف الكائنات الحية ولانصهر الجليد المتراكم على قطبى الأرض ولغرقت مساحات كبيرة من شواطئ القارات فى مياه البحار.

كذلك لو أن كمية الطاقة الحرارية التى تشعها الأرض إلى الفضاء زادت عن القدر الذى تمتصه من طاقة الشمس، لانخفضت درجة حرارة سطح الأرض سنة بعد أخرى، ولدخلت الأرض فى عصر جليدى لا نهاية له يتغطى فيه كل سطح الأرض بطبقات من الجليد.

ويعطينا هذا التوازن الدقيق بين ما تمتصه الأرض من طاقة الشمس وما تشعه من حرارة إلى الفضاء، انتظاما ملحوظا فى درجة حرارة سطح الأرض.



ويساعد على انتظام درجة حرارة سطح الأرض الانتقال المستمر للماء من حالة إلى أخرى من حالات المادة فيما بين القطبين وخط الاستواء، ولذلك فإن «الحرارة الكامنة» وهى الحرارة اللازمة لانتقال الماء من حالة إلى أخرى، وهى ذات قيمة مرتفعة فى حالة الماء، تلعب دورا رئيسيا فى تنظيم درجات الحرارة فوق سطح الأرض، وبذلك تعمل مياه المحيطات التى تغطى ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية، كمنظم للحرارة لا يسمح بحدوث تغيرات كبيرة فى درجات الحرارة من مكان لآخر يزيد على ١٠ - ٣٥° م.

وتقوم نفس هذه الظاهرة بمساعدة جسم الإنسان على الاحتفاظ بدرجة حرارته ثابتة على الدوام، فدرجة حرارة جسم الإنسان تكاد تكون ثابتة عند ٣٧° م، والفضل فى ذلك يعود إلى المياه التى تملأ خلايا هذا الجسم.

وعلى الرغم من وجود هذا التوازن الحرارى بالنسبة للسطح الكلى للأرض، إلا أن هناك فرقا واضحا فى درجة الحرارة بين المناطق الاستوائية وبين منطقتى القطبين، ولذلك نجد أن هناك دائما انتقالا للطاقة من خط الاستواء إلى المناطق القطبية.

ولا يتم هذا الانتقال الحرارى إلا بواسطة وسط مائع سهل الحركة مثل الماء أو الهواء.

نسيم البر والبحر:

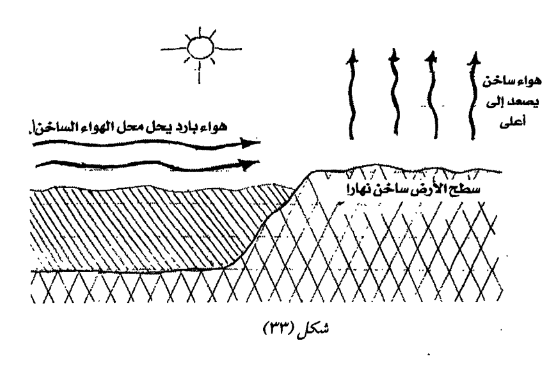
لا يسخن الهواء بواسطة أشعة الشمس مباشرة، ولكنه يسخن عند ملامسته لسطح الأرض اليابسة أو لسطح مياه البحار.

وتنشأ التغيرات الكبرى فى حالة الجو نتيجة للفرق بين قدرة كل من مساحات الأرض اليابسة ومساحات الماء على امتصاص الحرارة أو فقدها، فالأرض اليابسة تسخن وتبرد بسرعة، بينما تفعل ذلك مياه المحيطات ببطء كبير، وهذا هو السبب فى وجود نسيم البر والبحر.

وعندما تسقط أشعة الشمس على سطح الأرض، فإن الأرض اليابسة ترتفع درجة حرارتها بسرعة نسبية، فيسخن الهواء الملامس لها وتقل كثافته فيبدأ فى الارتفاع إلى طبقات الجو العليا، وتنشأ بذلك منطقة للضغط المنخفض فوق الأرض اليابسة.

وعند هذه المرحلة يبدأ الهواء البارد الملامس لسطح مياه البحر، الذى لم يسخن بعد، فى الاتجاه نحو الأرض اليابسة ليحل محل الهواء الساخن الذى ارتفع إلى الطبقات العليا، ويسمى ذلك بنسيم البحر (شكل ٣٣).

أما عندما تغيب الشمس فى أثناء الليل، فإن سطح الأرض اليابسة يبرد بسرعة أكبر من مياه المحيطات التى لها القدرة على الاحتفاظ بالحرارة فترة أطول، ولذلك يصعد الهواء الدافئ الملامس لمياه البحر ليحل محله الهواء البارد الآتى من البر، ويسمى ذلك بنسيم البر.



شكل (٣٣)

ويمكن ملاحظة تحركات الرياح الناتجة من الفرق فى درجة الحرارة بين اليابسة ومياه البحر، بوضوح فى المناطق الجنوبية من آسيا، التى تتعرض لرياح شديدة تعرف باسم الرياح الموسمية.

ولا يحدث التغير الحرارى فى هذه الحالة بين الليل والنهار، ولكن الحرارة تتغير من فصل لآخر، ففى فصل الشتاء يكون الهواء الملامس لسطح الهضبة الآسيوية باردا وأكثر كثافة من الهواء الملامس لسطح المحيطات؛ ولذلك يندفع هذا الهواء من الهضبة الآسيوية فى اتجاه المحيط الهادى والمحيط الهندى.

أما فى الصيف، فإن الهواء الملامس لسطح الهضبة الآسيوية ترتفع درجة حرارته كثيرا، فتقل كثافته ويرتفع إلى طبقات الجو العليا تاركا وراءه منطقة للضغط المنخفض فى وسط الهضبة، فتندفع الرياح من البحر إلى الأرض اليابسة لتحل محل هذا الهواء. وغالبا ما تكون هذه الرياح محملة ببخار الماء، وقد تبلغ قوة اندفاعها إلى حد العاصفة

مما يحدث دمارا شديدا وسيولا مدمرة وفيضانات فى هذه المناطق التى تتعرض لهذه الرياح الموسمية.

وهناك مناطق ضغط عال وضغط منخفض أخرى فى أماكن كثيرة من سطح الكرة الأرضية ،وهى تنشأ كذلك بسبب الفرق فى درجة الحرارة بين سطح المحيط وسطح الأرض اليابسة المجاورة له، ومثال ذلك أن مياه المحيط الشمالى تكون أكثر دفئا من الأرض اليابسة فى الشتاء، ولذلك تنشأ فوق هذا المحيط منطقتان للضغط المنخفض، إحداهما بالقرب من أيسلندا، والثانية فوق جزر الألوشيان أمام سواحل ألاسكا.

والماء كالهواء دائب الحركة والارتحال، فمنذ وجد الماء على سطح الأرض وهو فى دورة طبيعية لا تنتهى، فهو قد يتجمع فى تلك الخزانات الضخمة التى تتمثل فى البحار والمحيطات، وقد يتوارى بعضه فى خزان آخر كبير هو الغلاف الجوى، الذى يحتوى أيضا على آلاف الأطنان من الماء.

وهناك أيضا توازن دقيق بين كمية الماء التى توجد بالخزان الرئيسى وهى المحيطات، وبين كمية الماء الموجودة بالخزان الصغير وهو الغلاف الجوى.

ونلاحظ أن كمية الماء التى توجد عادة على هيئة بخار فى الغلاف الجوى، والتى تقل عن جزء من عشرات الألوف من ماء المحيطات، دائمة التجدد، فهى قد تتحول إلى أمطار أو جليد، وقد تظهر على هيئة طل فوق أوراق الأشجار، أو صقيع فوق سطح التربة، بينما تحل محلها مياه أخرى تتصاعد من الخزان الكبير بفعل حرارة الشمس.

ويمكن القول بأن بخار الماء الموجود بالهواء يتجدد كل عشرة أيام فى المتوسط، ويؤدى ذلك أيضا إلى تجدد مياه المحيطات ولكن فى فترة زمنية تطول عن ذلك كثيرا.

ويعتبر وجود بخار الماء فى الغلاف الجوى ذا أهمية خاصة، فلو اختفى بخار الماء من الهواء لتعرض سطح الأرض لسحب كثيفة من التراب، مثلما يحدث على سطح المريخ، وهى سحب ستثيرها قَطْعًا الرياح الجافة المتجولة، كما أن عدم وجود بخار الماء فى الغلاف الجوى سيؤدى إلى وجود تباين كبير فى درجات الحرارة قد يكفى وحده للقضاء على مظاهر الحياة على سطح الأرض.

وتمثل حركات بخار الماء ـ سواء منها الحركات الرأسية أو الحركات الأفقية ـ أهم وسائل التبادل الحرارى فوق سطح الأرض، فيحدث مرتين فى العام مثلا أن تنتقل كميات كبيرة جدا من الهواء، تقدر بنحو عشرة ملايين طن، عبر خط الاستواء من

المناطق الدافئة إلى المناطق الباردة حاملة معها ملايين الأطنان من بخار الماء الذى يتكثف إلى أمطار مطلقا بذلك كميات ضخمة من الحرارة تساعد على تخفيف الفروق فى درجات الحرارة بين المناطق الحارة والمناطق الباردة من سطح الأرض.

ولبخار الماء كذلك قدرة كبيرة على امتصاص الإشعاعات، وعلى الأخص ما كان منها طويل الموجات، وبذلك يقوم البخار بمهمة كبيرة فى الحفاظ على الاتزان الحرارى فوق سطح الأرض مما يمنع تقلب الحرارة بين درجاتها القصوى، ففى الليل تفقد الأرض بعضا مما اكتسبته من الحرارة فى أثناء النهار عن طريق الإشعاع.

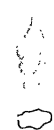
وتقدر كمية الإشعاع المفقود من سطح الأرض إلى الفضاء الخارجى بحوالى ١٥٪ من الإشعاع الكلى الصادر من الأرض، أما بقية هذا الإشعاع فيمنع الغلاف الجوى تسربه إلى الفضاء، وذلك عن طريق ما به من بخار الماء.

كذلك تؤثر التيارات البحرية الكبيرة على المناخ فوق المناطق التى تمر بها، ويقوم بعض هذه التيارات بنقل كتل ضخمة من الماء الدافئ من خط الاستواء إلى المناطق الباردة، كما أن هناك تيارات أخرى تحمل الماء البارد فى اتجاه عكس الاتجاه السابق.

ومن أمثلة ذلك تيار شمال الأطلنطى الدافئ، وهو جزء من تيار الخليج الدافئ، ويتجه هذا التيار الدافئ إلى سواحل أوربا الغربية، ويؤدى إلى اعتدال الجو فوق هذه المناطق بشكل ملحوظ.

أما تيار لبرادور البارد الآتى من المحيط الشمالى فهو يخفض من درجة الحرارة فى المناطق التى يمر بها، فيمد فصل الشتاء فوق نيوفوندلاند إلى نحو تسعة أشهر فى كل عام.





الفصل الثانى عشر

تلوث الماء

لم تكن فكرة تلوث البيئة تشغل أذهان الناس فيما مضى، وكانت أغلب المدن الأوربية فى العصور الوسطى تلقى بمخلفاتها وفضلاتها فى المجارى المائية المجاورة لها.

ولم يفكر أحد فى ذلك الوقت أن بعض هذه المخلفات أو الفضلات قد تعود إليه مرة أخرى عن طريق مياه الشرب والغسيل التى كانوا يأخذونها من نفس هذه الأنهار والبحيرات.

وكان الاعتقاد سائدا بين الجميع، حتى فى خلال القرن العشرين، أن البحار والمحيطات هى أنسب مكان يمكن التخلص فيه من كل المخلفات، سواء فى ذلك مخلفات المصانع أو مخلفات المدن، أو أى فضلات أخرى يراد التخلص منها.

والأمثلة على تلوث المجارى المائية كثيرة ومتعددة، فنهر الراين الذى يمر بأراضى ألمانيا وهولندا، تصل نسبة الفضلات والمخلفات العالقة بمياهه عند مصبه نحو ٢٠ ٪ على وجه التقريب، ولهذا فقد أطلق على هذا النهر مجازا اسم «مجارى اوربا» «Sever of Europe» وهو اسم يعبر تماما عن حالة التلوث الشديدة التى أصابت مياه هذا النهر.

وحتى المياه التى تملأ المحيطات الواسعة قد أصابها مثل هذا التلوث، خاصة حول المناطق الصناعية المقامة على شطئانها، وحول الموانئ الكبيرة، وقد جاء فى تقرير أصدره معهد كاليفورنيا التكنولوچى بالولايات المتحدة عام ١٩٦٦، أن مياه الجزء الشمالى من المحيط الأطلنطى زادت بها نسبة التلوث نتيجة لتساقط الرذاذ المحمل بالرصاص عليها، والذى حملته الرياح من أجواء المناطق الصناعية ومن المدن الموجودة بنصف الكرة الأرضية الشمالى فى كل من أوربا وأمريكا، والمحملة أجواؤها بعادم السيارات.

ولا يقتصر تلوث مياه المحيطات والبحار على طبقاتها السطحية فقط ولكنه يصل فى كثير من الأحيان إلى مياه الأعماق.

كذلك لا يقتصر التلوث على المياه الساحلية فقط، بل تظهر آثار هذا التلوث فى وسط المحيطات فى بعض الأحيان، وقد شاهد ذلك الرحالة النرويجى «ثور هايردال» «Thor Heyerdahl» فى أثناء رحلته على قاربه الشراعى «رع٢» من الساحل الإفريقى إلى السواحل الأمريكية، ووصف المياه الموجودة ببعض المناطق فى وسط المحيط بأن لونها كان أخضر رماديا، ويطفو على سطحها كثير من القاذورات والمخلفات، وقال أنه تصور أن قاربه يطفو وسط مياه الصرف الصحى.

وهناك صور متعددة لتلوث الماء، فالماء قد يتلوث بمياه الصرف الصحى التى قد تختلط به لسبب من الأسباب، وقد يتلوث الماء بمخلفات البترول التى تلقيها بعض الناقلات فى أثناء رحلاتها البحرية، وقد يتلوث كذلك بالمخصبات الزراعية أو ببعض المبيدات الحشرية التى ينتشر استعمالها اليوم، كما قد يتلوث الماء أيضا بمئات من المواد الكيميائية الضارة المختلطة بمخلفات المصانع.

تلوث الماء بمياه الصرف الصحى:

تتكون مياه الصرف الصحى من خليط من أنواع المياه، فهى تتكون من مياه دورات المياه فى المنازل، ومن المياه الواردة من بعض المتاجروالمصانع التى تقع داخل إطار المدينة،بالإضافة إلى المياه المستخدمة فى غسل الطرق، ومياه الأمطار.

وعند إلقاء مياه الصرف الصحى فى المجارى المائية الطبيعية مثل الأنهار أو البحيرات، فإنها تجعل هذه المجارى المائية غير صالحة لحياة أغلب ما بها من كائنات حية؛ وذلك لأن مياه الصرف الصحى تحمل معها الكثير من المواد الضارة التى تؤثر تأثيرا بالغ الضرر على الأسماك وعلى غيرها من الكائنات، كما أنها تجعل مياه هذه المجارى المائية غير صالحة للشرب أو لغيره من أغراض الاستعمال الآدمية.

كذلك تستهلك المواد العضوية الموجودة بمياه الصرف الصحى قدرا كبيرا من غاز الأكسچين الذائب فى مياه الأنهار والبحيرات، ومن المعروف أنه إذا قلت نسبة الأكسچين الذائب فى الماء عن أربعة أجزاء فى المليون، فإن هذه المياه تصبح غير صالحة لحياة الكائنات البحرية من نبات أو حيوان.

وعندما تكون هناك حاجة ملحة لإلقاء مياه الصرف الصحى فى أحد هذه المجارى المائية، فيجب مراعاة النسبة التى تمثلها مياه الصرف الصحى بالنسبة لمياه النهر، ويجب ألا تقل هذه النسبة عن ١ : ٧٠، أى بنسبة جزء واحد من مياه الصرف الصحى إلى ٧٠ جزء من مياه النهر إذا كانت مياه الصرف الصحى غير معالجة، أما إذا

كانت مياه الصرف الصحى قد سبق معالجتها معالجة أولية قبل إلقائها، فيمكن أن تصل هذه النسبة إلى ١ : ٤٠ دون أن يحدث ذلك ضررا كبيرا للكائنات الحية المائية.

ولا يقتصر تلوث المياه بمياه الصرف الصحى على الأنهار والبحيرات، ولكن هذا التلوث قد يصيب كذلك مياه البحار والمحيطات، فهناك بعض المدن التى تلقى بمياه الصرف الناتجة منها فى البحار، مثل مدينة مرسيليا بفرنسا ومدينة الإسكندرية بجمهورية مصر العربية، فكلتيهما تلقى بمياه صرفها فى البحر الأبيض المتوسط.

ويمكن الإقلال من الأضرار الناتجة عن إلقاء مياه الصرف الصحى فى البحار، بأن تعالج مياه الصرف الصحى معالجة أولية على الأقل قبل إلقائها فى البحر، وتلقى بعد ذلك بواسطة أنابيب تصب هذه المياه على بعد نحو عشرة كيلو مترات من الشاطئ، وعلى عمق لا يقل عن خمسين مترا تحت سطح البحر، مع مراعاة اتجاهات الرياح السائدة وتيارات المياه السطحية والعميقة، وبذلك تترك الفرصة للعوامل الطبيعية مثل ضوء الشمس والأكسچين وبعض الكائنات الحية الدقيقة، للقضاء على أغلب الأضرار الناتجة من هذه المياه.

وقد يؤدى إلقاء مياه الصرف الصحى فى البحيرات، خاصة فى البحيرات المقفلة، إلى ظاهرة «التشبع الغذائى» «Eutrophication» وهى الظاهرة التى تتحول فيها البحيرات إلى مستنقعات تنتشر بها الطحالب الخضراء وتتشابك فيها النباتات ويصعب الملاحة فيها، ولا تعود تصلح للصيد أو الاسترواح.

وتنتج هذه الظاهرة عند زيادة نسبة المواد العضوية وزيادة نسبة مركبات الفوسفات فى مياه هذه البحيرات، وهى المواد التى تحملها إليها مياه الصرف الصحى التى تلقى فيها، ويتحول بعض هذه البحيرات المقفلة إلى مستنقعات بصورة سريعة عندما تكون مياه الصرف الصحى التى تلقى بها بالغة الضخامة.

وعند إلقاء مياه الصرف الصحى فى المناطق الصحراوية والبعيدة عن العمران، فيجب أن يراعى ألا تختلط هذه المياه بالمياه الجوفية حتى لا يتسبب ذلك فى إفساد المياه الجوفية ولا تعود صالحة للزراعة أو للشرب، ويفضل دائما أن تتم معالجة مياه الصرف الصحى قبل إلقائها فى البحار أو فى الصحراوات تجنبا لتلوث المياه السطحية أو الجوفية.

تلوث الماء بمخلفات البترول:

ظاهرة تلوث مياه البحار والمحيطات بزيت البترول ظاهرة حديثه لم يعرفها الإنسان إلا فى النصف الثانى من القرن العشرين.

ونحن نرى هذه الظاهـرة اليوم فى كل مكان، فكثيـرا ما تختلط نفايـات البترول السوداء بمياه الشواطئ فى المصايف، وفى المدن السـاحلية، فتفسد جمال هذه المياه، وتهدد كل من يخاطر بالاستحمام فى هذه المياه، أو يفكر فى الاستلقاء على رمال هذه الشواطئ.

وهناك عدة أسباب لتلوث المياه بمخلفات الـبترول، فقد ينشأ هذا التلوث نتيجة لبعـض الحوادث التى تقـع أحيانا فى بـعض آبار البتـرول البحرية، أو نـتيجة لـبعض الحوادث التى تـقع لبعض ناقلات البـترول وهى فى عرض البـحار، أو نتيجة لـتسرب بعض زيت البترول من الأنابيب التى تنقله إلى شواطئ البحار.

وعادة ما يكون تلوث الـماء بزيت البترول الناشئ عن حوادث الـناقلات، مركزا تركيزا شـديدا فى منطقة الحـادث، ولكنه غالبا مـا يؤثر تأثيرا شديدا فـى كل المناطق المحيطة بمنطقة الحادث.

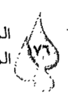
وهناك أمثلة كـثيرة على حوادث الناقـلات، فعندما غرقت ناقلة الـبترول «آرجو مرشـانت» «Argo Merchant»، عام ١٩٧٦ أمـام «رأس كود» «Cape Cod»، وهـى منطقة غنية بالأسماك، تدفق منها نحو ٤٠,٠٠٠ طن من الزيت أدى إلى قتل الأسماك الموجودة بهذه المنطقة.

كذلك أدى غرق ناقلة البترول الـعملاقة «أموكوكاديز» «Amoco Cadiz»، عـام ١٩٧٨، أمام الشاطئ الفرنسى، إلى تدفق أغلب مـا كان بهذه الناقلة من زيت، وكانت تحـمل ٢٢٠,٠٠٠ طن من البـترول، ممـا تسبب فى تـلوث الشواطئ الـشماليـة فى فرنسا.

وعادة ما يكوِّن الزيت المـتدفق من الناقلة، بقعة كبيرة تـطفو فوق سطح الماء، وتبدأ هذه البقعـة فى الانتشار تدريجيا لتغطـى مساحة كبيرة من ماء البـحر حول الناقلة الغارقة، وذلك بفعل الرياح والأمواج.

ويمتـد تأثير بقعـة الزيت الناتجـة من الحادث إلى كل المـناطق المحيـطة بها، فتتـصاعد منهـا أبخرة المقـطرات الخفيفـة لتلوث هواء المنـطقة، كما يـتكون نوع من المستحلـب بين بعض أجزاء بقعة الزيت وماء البـحر، ويختلط هذا المستـحلب بالمياه تحت السطحية، ويؤدى إلى تلوث جزء من مياه البحر العميقة مما يضر كثيرا بحياة كل الكائنات البحرية التى تعيش فى هذه المنطقة وما حولها.

وعادة ما يقوم هذا المستحلب الناتج من اختلاط الزيت بالماء بامتصاص كثير من المواد العضوية الضارة التى قد توجد فى ميـاه البحر، مثل بعض المبيدات الحشرية أو المنظفات الصناعية، كما قد يقوم هذا المستحلب باستخلاص بعض العناصر الثقيلة من



ماء البحر، مثل الكادميوم والرصاص والزئبق، ويرفع بذلك من تركيز هذه العناصر السامة فى مياه المنطقة.

وعندما ينتشر زيت البترول فوق سطح الماء على هيئة طبقة رقيقة، يحدث فى هذه الطبقة تفاعل كيميائى ضوئى بتأثير أشعة الشمس وأكسچين الهواء، فتتأكسد بعض السلاسل الهدروكربونية التى يتكون منها زيت البترول، وتتحول إلى مواد عضوية جديدة مختلفة التركيب، مثل الكحولات والألدهيدات والكيتونات، وهى مواد ذات جزيئات صغيرة نسبيا ويسهل ذوبانها فى الماء، ولكنها سامة التأثير، وبذلك تصبح هذه المواد فى متناول الكائنات الحية التى تعيش فى الماء، وتؤدى بذلك إلى مزيد من الضرر لهذه الكائنات.

وعندما تتبخر الأجزاء الطيارة من بقعة الزيت، بعد عدة أيام، لا يتبقى منها إلا الأجزاء الثقيلة غير القابلة للتطاير، وتتحول هذه البقايا بمرور الوقت إلى كتل صغيرة سوداء متفاوتة الأحجام، تعرف باسم «كرات القار» «Tar Balls»، وهى عبارة عن خليط من بعض المركبات الأسفلتية وبعض المواد المحتوية على النتروچين والأكسچين والكبريت.

وقد ذكرت إحدى نشرات اليونسكو الصادرة فى كندا عام ١٩٨١، والخاصة بتلوث الماء بزيت البترول، أن نسبة هذه الكرات السوداء قد ارتفعت بشكل ملحوظ فى مياه بعض البحار، فقد بلغت نحو ٧ مليجرامات فى كل متر مربع من سطح الماء فى مياه بحر بارنتس، بينما بلغت نسبتها فى مياه البحر الأبيض المتوسط نحو ١٠ مليجرامات فى المتر المربع.

وعند تحليل هذه الكرات السوداء تبين أنها تحتوى على نسبة من عنصر الحديد أعلى مما يوجد عادة فى زيت البترول الطبيعى، وقد اعتبر ذلك دليلا على أن كرات القار تنتج من مخلفات الزيت التى تلقيها الناقلات أثناء رحلتها فى عرض البحار.

ويحدث فى كثير من الأحيان أن تتجه بعض هذه الكرات السوداء، بتأثير الرياح وحركة الأمواج إلى الشواطئ فتلوثها وتفسد جمالها، وتسبب كثيرا من الضيق لرواد هذه الشواطئ.

وكثيرا ما تهبط بعض هذه الكرات السوداء إلى قاع البحر،وخاصة فى المناطق التى تحدث بها حوادث الناقلات، فعندما غرقت ناقلة البترول «أرو» «Arrow» عام ١٩٧٠ أمام شواطئ نوفاسكوتشا، تغطى قاع البحر فى منطقة الحادث بعد فترة وجيزة، بطبقة سوداء من هذه الكرات القارية بلغ سمكها نحو خمسة عشر سنتيمترا.

ولا يسهل التخلص من بقع الزيت الضخمة الناتجة من هذه الحوادث، فلا تستطيع العوامل الطبيعية مثل أشعة الشمس وأكسجين الهواء وبعض أنواع البكتريا أن تحلل هذا الكم الهائل من الزيت المركز فى مكان واحد.

وقد استخدمت المنظفات الصناعية فى بعض الحالات للتخلص من هذه البقع الكبيرة، فهى تكون مع الزيت مستحلبات ثابتة يسهل انتشارها بعد ذلك فى مياه البحر، ولكن هذه الطريقة تقتضى استخدام كميات كبيرة جدا من هذه المنظفات الصناعية، ومثال ذلك أن الأمر تطلب فى إحدى الحالات استخدام نحو ١٠,٠٠٠ طن من أحد هذه المنظفات الصناعية لإزالة بقعة من الزيت الناتج من تدفق ١٨٠٠٠ طن من إحدى الناقلات.

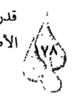
وقد نجحت هذه الطريقة فى إزالة هذه البقعة فى خلال عدة أيام، ولكن يجب أن نأخذ فى الاعتبار أن إضافة كل هذا القدر الكبير من المنظف الصناعى، سيضيف كثيرا إلى مشكلة التلوث العام لمياه البحار.

وهناك حوادث أخرى غير حوادث الناقلات، تضيف إلى مشكلة تلوث مياه البحار، مثل حوادث انفجار آبار البترول، ومثال ذلك تفجر الزيت فى بحر الشمال عام ١٩٧٧ الذى أدى إلى تلوث مياه البحر بحوالى ٢٥٠٠٠ طن من الزيت الخام، كذلك انفجار بئر بترول فى قناة سانت بربارا بولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة، الذى أدى إلى انتشار كميات هائلة من الزيت فوق سطح الماء وإلى تلوث الشواطئ فى هذه المنطقة.

وتوضح كثير من الدراسات أن مياه البحار والمحيطات تتلوث كل عام بعدة ملايين من الأطنان من زيت البترول، وأن الحوادث البحرية التى تقع لناقلات البترول لا تشترك فى هذا التلوث إلا بنسبة صغيرة لا تزيد على ١٠٪ على الأكثر.

وقد تبين أن أحد المصادر الرئيسية لتلوث مياه البحار بزيت البترول هو ما يعرف باسم «ماء التوازن»، وهو الماء الذى تملأ به الناقلة جزءا من صهاريجها الفارغة فى رحلة العودة، ويصل حجم هذا الماء إلى نحو ٣٪ من حجم الناقلة، وذلك للحفاظ على توازنها وهى فارغة.

وعند تفريغ ماء التوازن عند وصول الناقلة إلى ميناء الشحن، يخرج مع هذا الماء قدر من الزيت المتبقى فى خزاناتها، ويصل هذا الزيت إلى نحو ١,٥ ٪ من الحمولة الأصلية للناقلة، وهو يمتزج مع ماء البحر محدثا به قدرا كبيرا من التلوث.



وهناك مـصدر آخر من مصـادر تلوث الماء بزيـت البترول، ويحـدث ذلك عند فصل الماء الملح عن الزيت الخام فـور استخراجه من باطن الأرض، ولا يمكن إجراء هذا الفصل بدقة تامة، بل يتبقى دائما جزء صغير من الزيت عالقا بالماء الذى يلقى بعد ذلك فى ماء البحر.

ولا يستهان بالتلوث الناتج من هذا القدر الصغير من الزيت الذى يتبقى مع الماء الملح، فكل برميل من الزيت الخام يقابله عـدة براميل من الماء الملح، وبذلك يمكننا أن نتصـور الكميات الهائـلة من هذا الماء الملح الـملوث بالزيت، والتى تبلـغ ملايين البراميل فى اليوم، ويتم التخلص منها بإلقائها فى مياه البحار.

وتزداد خطورة تلوث المـياه بزيت البترول فى البحـار شبه المقفلة، مـثل البحر الأحمر والبـحر الأبيض المتوسـط، وهى تمثل اليوم معـبرا هاما لناقلات البـترول بين الشرق والغرب.

وتعتبر مياه الخليج العربى من أكثر البحار تلوثا بزيت البترول، خاصة بعد نشوب الحرب العراقية الإيرانية وتدمير كثير مـن الناقلات وغرقها بحمولتها من الزيت فى هذا الخليج. وكذلك حرب الكويت.

وقد امتد التلوث اليوم إلى كل البحـار والمحيطات، ولن يتوقف هذا التلوث إلا بعد أن تتغيـر نظرتنا إلى مياه البحار والـمحيطات، والتى تعتبر أن هـذه المياه هى سلة المهملات الطبيعية التى يمكن أن نلقى فيها بكل ما لدينا من مخلفات أو فضلات.

تلوث الماء بمخلفات الصناعة:

تقام أغلب المنشـآت الصناعية عادة على شواطئ البحـار أو على شواطئ الأنهار والبحـيرات، وقد درجت بعض هـذه المنشآت على إلقـاء مخلفاتهـا وبعض منتجـاتها الثانوية فى مياه هذه المجارى المائية.

وتمثل المـخلفات الصناعـية التى تلقى فى هذه المـياه خطرا داهما علـى جميع الكائنات الحية التى تعيش فى هذه المجارى الـمائية مثل الأسماك وغيرها من الكائنات البحرية أو التى تعتمد فى حياتها على هذه المياه مثل الإنسان؛ وذلك لأن كثيرا من هذه المخلفات سام التأثير ولا يتحلل بتأثير العـوامل الطبيعية بسهولة، ولذلك يبقى أثر هذه المخلفات طويلا فى هذه المياه، ويستمر فعلها الضار فى البيئة أمدا طويلا.

وتتنوع المخلفات الـصناعية وتختلف من حالة إلى أخرى، فـمنها ما يكون على هيئة مواد كـيميائية تستـهلك الأكسجين الذائب فى المـياه الطبيعية، ومنـها ما هو سام لجميع الكائنات من نبات وحيوان.

وقد تسبب إلقاء المواد القابلة للاشتعال فى المياه، فى وقوع بعض الحوادث الغريبة، فقد اشتعلت مياه أحد الأنهار فى الاتحاد السوفيتى عندما ألقى فيه أحد الأشخاص بسيجارة مشتعلة، كذلك اشتعل سطح الماء فى أحد أنهار ولاية أوهايو بالولايات المتحدة فى حادث مماثل، أدى إلى احتراق بعض خطوط السكك الحديدية المجاورة لهذا النهر.

وقد تبين فيما بعد أن بعض المصانع المقامة على شواطئ هذه الأنهار كانت تلقى ببعض المذيبات العضوية وببعض مخلفاتها الأخرى القابلة للاشتعال فى مياه هذه الأنهار كل يوم.

وقد تبين من الدراسات التى أجريت فى هذا المجال أن كثيرا من المواد الكيميائية الموجودة بالمخلفات الصناعية تتفاعل مع كثير من مكونات البيئة الطبيعية، وأن أغلب هذه المواد تقوم باستهلاك قدر كبير من غاز الأكسچين الذائب فى الماء.

ويزيد ما تستهلكه هذه المخلفات من الأكسچين على أربعة أضعاف ما يستهلكه مياه الصرف الصحى، وهى المعروفة باستهلاكها لكميات كبيرة من الأكسچين الذائب فى المياه، وبذلك يؤدى إلقاء المخلفات الصناعية فى المجارى المائية إلى قتل ما بهذه المياه من كائنات حية بطريقة غير مباشرة.

ولبعض المواد الكيميائية التى توجد بالمخلفات الصناعية تأثير مباشر على حياة الكائنات، فبعض هذه المواد سام وقاتل، مثل مركبات الفوسفور العضوية، وبعض المنظفات الصناعية وبعض المواد المحتوية على الفلزات الثقيلة مثل الرصاص والزئبق.

وهناك نوعان من المنظفات الصناعية، أحدهما سريع التفكك والتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة التى تعيش فى المجارى المائية، ويعرف هذا النوع باسم «المنظفات اليسرة» «Soft Detergents»، وهو لا يسبب تلوثا شديدا للماء وينتهى أثره بعد مدة قصيرة.

أما النوع الثانى من المنظفات الصناعية فهو من النوع الثابت الذى يقاوم التحلل بالعناصر الطبيعية، ويعرف باسم «المنظفات العسرة» «Hard Detergents»، ولهذا يبقى الأثر الضار لهذا النوع مدة طويلة وقد يؤدى إلى تغطية سطح المجرى المائى بطبقة سميكة من الرغوة تعزل مياه النهر عن أكسچين الهواء.

وعادة ما تحتوى المنظفات الصناعية على مركبات الفوسفات فى تركيبها، ولذلك فإن مياه الصرف الصحى، بعد أن انتشر استعمال هذه المنظفات، تحتوى عادة على



نسبة عالية من مركبات الفوسفات، وبذلك تساعد المنظفات الصناعية بطريقة غير مباشرة على وصول بعض المجارى المائية إلى حالة التشبع الغذائى، وتعجل بتحولها إلى مستنقعات.

وقد ذكرت إحدى الإحصائيات التى أجريت فى الولايات المتحدة أن نحو ٧٠٪ من مركبات الفوسفور الموجودة بمياه كثير من الأنهار والبحيرات الأمريكية ورد إليها عن طريق مياه الغسيل المحملة بالمنظفات الصناعية والمختلطة بمياه الصرف الصحى.

وينطبق ذلك أيضا على كثير من البلاد الأوربية، ومثال ذلك أن مياه بحيرة «كونستانس» «Constance» التى تقع على حدود ألمانيا وسويسرا والنمسا، قد زادت بها نسبة مركبات الفوسفور إلى حوالى ٢٥٠٠ ٪ عما كانت عليه هذه النسبة عام ١٩٢٠، أى أنها زادت بمقدار خمسة وعشرين ضعفا عن ذى قبل بسبب انتشار استعمال المنظفات الصناعية فى كل الأغراض.

وتحتوى المياه التى تلقى فيها المخلفات الصناعية فى بعض الأحيان على مواد شديدة السمية، فمياه الصرف الناتجة من مصانع الطلاء الكهربائى قد تحتوى على بعض أيونات السيانيد، وهى سم زعاف تقتل كل الكائنات الحية دون استثناء.

كذلك فإن بعض المصانع التى تستخدم طرق التحليل الكهربائى بواسطة أقطاب من الزئبق، مثل المصانع التى تنتج هدروكسيد الصوديوم بالتحليل الكهربائى لملح الطعام، يتسرب منها قدر ضئيل من الزئبق مع مياه صرفها ومع مخلفاتها التى تلقى فى المجارى المائية.

ولقد لقيت مشكلة تلوث المياه بالفلزات الثقيلة مثل الزئبق والرصاص اهتماما كبيرا من كثير من الدول، فقد تبين وجود نسبة غير قليلة من الزئبق فى أجسام الأسماك التى يتم صيدها من بعض بحيرات كندا، كما تم اكتشاف حالات مماثلة فى بعض البحيرات الأوربية.

وقد أدت هذه الأسماك التى بها قدر من الزئبق إلى وفاة نحو ١٠٠ شخص فى اليابان، وتبين فيما بعد أن هذه الأسماك تم صيدها من خليج معين، وأن هناك مصنعا للبلاستيك مقام على شاطئ هذا الخليج، يلقى بمخلفاته المحتوية على الزئبق فى المياه دون معالجتها.

كذلك تم اكتشاف تركيزات غير عادية من الزئبق فى مياه بحيرة «ليمان» «Leman» بسويسرا عام ١٩٧٠، واتضح بعد ذلك أن الزئبق يرد إلى البحيرة مع مياه نهر الرون الذى يصب فيها؛ لأن أحد المصانع الكيميائية المقامة على ضفاف هذا النهر، يلقى بمخلفاته المحتوية على الزئبق فى مياه النهر دون معالجتها.

وقد كان من المعتقد أن تلوث المياه بنسبة ضئيلة من الزئبق كما فى حالة مياه صرف مصانع التحليل الكهربائى، والتى لا تزيد فيها نسبة الزئبق على مليجرام واحد فى المتر المكعب، لا يمثل خطورة كبيرة على حياة الكائنات الحية، وخاصة أن هذه النسبة الصغيرة سيتم تخفيفها كثيرا بعد امتزاجها بمياه المجرى المائى.

وقد تبين فيما بعد أن هذا غير صحيح، وأن الأسماك لها القدرة على تخزين الزئبق فى أجسامها على هيئة مركب عضوى يسمى «ثنائى فنيل الزئبق» وهو يرتبط ببروتينات جسمها بواسطة إحدى ذرات الكبريت.

وقد قامت هيئة الصحة العالمية بتعيين الحد الأعلى لكمية الزئبق التى يسمح بدخولها إلى جسم الإنسان بما لا يزيد على ٠,٣ مليجرام فى الأسبوع، ويمكن الوصول إلى هذا الحد بسهولة إذا تناول الفرد كيلو جراما ونصف من أسماك بحيرة «ليمان»، مما يبين بجلاء أنه يجب عدم الاستهانة بتلوث المياه بفلز الزئبق، مهما كانت نسبته ضئيلة فى هذه المياه.

وينتشر حاليا تلوث المياه بالزئبق فى كل مكان، فقد وجدت آثار للزئبق فى أجسام الدب القطبى وطائر البنجوين، وهى حيوانات تعيش فى المنطقة القطبية بعيدة عن العمران وبعيدة عن المناطق الصناعية، ولا توجد بها مصادر للتلوث بهذا الفلز.

وقد اتضح فيما بعد أن سلسلة الغذاء هى السبب فى هذا التلوث الذى وجد حتى فى المناطق البعيدة عن العمران.

فقد يقوم أحد الطحالب بامتصاص فلز الزئبق من الماء، ثم تتغذى إحدى القشريات على مئات من هذه الطحالب، وتتغذى الأسماك على عشرات من هذه القشريات، وفى نهاية هذه السلسلة يتغذى الدب القطبى أو طائر البنجوين على عشرات من هذه الأسماك، ويصحب كل ذلك زيادة مستمرة فى نسبة الزئبق فى كل خطوة من هذه الخطوات، وتظهر هذه الزيادة بشكل واضح فى نهاية سلسلة الغذاء.

وتشترك مع الزئبق فى تلوث الماء بعض الفلزات الثقيلة الأخرى، مثل الرصاص والكادميوم والزرنيخ، وهى تجعل المياه غير صالحة للشرب ولا لمعيشة الكائنات الحية الأخرى.

وتحتوى المخلفات الصناعية أيضا على كثير من المركبات الكيميائية السامة الأخرى، التى تسبب تلوث مياه المجارى الطبيعية، ومن أمثلة هذه المركبات مجموعة من المركبات العضوية تعرف باسم مركبات «ثنائى الفنيل متعددة الكلور»

«Polychlorinated Biphenyls» وتعـرف عـادة بالاسـم المختـصر «P. C. B.» «بى سى بى».

وتوجد هذه المواد فى مخـلفات كثير من المصانع، مثل مـصانع الورق والنسيج والمطاط وغيـرها، وهى مواد شديدة الثبات ولا تـنحل بسهولة، وقد حظرت كـثير من الدول إنتاج هـذه المواد واستخـدامها، ومع ذلك فـما زال هناك جزء مـن هذه المواد مختلطا ببعض المواد والمنتجات الصناعية المعروضة فى الأسواق.

وتحتوى المخلفـات الصناعية أحيانا على بعض المركبـات الأخرى مثل مركبات «الدايـوكسـين» «Dioxin»، وهى مواد شديدة الـسمية وقد تسبب الإصـابة بالسرطان، وتوجد فى مخلفات كثير من المصانع الكيميائية، خاصة تلك التى تقوم بتصنيع مبيدات الأعشاب والمواد المطهرة.

وتبلغ سمية هذه المركبات حدا يفوق كـل وصف، فيكفى تركيز ضئيل جدا منها لا يزيد على ٨,٠ من الميكرو جرام، والميكرو جرام جزء من مليون جزء من الجرام، ليقضى على حياة أحد الأرانب.

كذلك يكفى وجود ثـلاثة أجزاء منها فى كل ألف مليون جزء من الـماء للقضاء على يرقة الناموس.

وتزداد خطورة هذه المركبـات عندما نعلم أنها شديدة الثبات ولا تـتأثر بالعناصر الطبيعية، فـيبلغ عمر النصف لها نحو عشر سنـوات، أى أنه إذا وجد منها جرام واحد فى الماء، فـإن نصف هذا الجرام يـنحل بعد عشـر سنوات، ثم ينحل نـصف النصف الجرام المتبقى، أى ربع الجرام، فى عشر سنوات أخرى وهكذا.

وتحتوى المخلفـات الصناعية على مئات من المنتـجات والمواد الأخرى الضارة مثل الأصباغ والمواد الملونة والأملاح والأحماض والقواعـد وغيرها وتحملها معها مياه صرف المصانع إلى مياه المجارى الطبيعيـة فتلوثها وتسبب كثيرا من الأضرار لما يعيش بها من كائنات.

ولا يسهل منع تلـوث المياه الطبيعيـة بمثل هذه المواد، فلا توجـد هناك طريقة عامة للتخلص من كل هذه المواد الملوثة، ولكـن يجب أن تقوم كل صناعة بتنقية مياه الصرف الخاصة بها ومعالجتها بطرق هى أدرى بها، وذلك قبل إلقاء هذه المخلفات فى مياه المجارى الطبيعية.

تلوث المياه بالمبيدات:

انتشر استخدام المبيدات الحشرية فى مكافحة الآفات الزراعية فى أعقاب الحرب العالمية الثانية، وأسرف الإنسان فى استعمالها إسرافا شديدا فى السنوات الأخيرة من هذا القرن.

ولا يمكن التحكم فى الكمية المستخدمة من هذه المبيدات، وعادة ما يتبقى منها ولو جزء يسير فى التربة الزراعية، وقد تصل نسبة هذا الجزء إلى نحو ١٥٪ من المبيد المستعمل، وقد تبقى بعض هذه المبيدات دون أن تتحلل لمدة طويلة قد تصل إلى نحو عشر سنوات أو أكثر.

وعادة ما تجرف مياه الرى أو مياه الأمطار هذا الجزء المتبقى من المبيدات وتحمله معها إلى المياه الجوفية أو إلى مياه المجارى المائية الطبيعية فيلوثها ويسبب كثيرا من الأضرار للكائنات التى تعيش فيها.

وكما سبق أن رأينا، يمكن أن يزداد تركيز هذه المبيدات فى أجسام الكائنات الحية بمرور الزمن.

ومن أوضح الأمثلة على ذلك مياه بحيرة «كلير» «Clear» بالولايات المتحدة، فقد احتاج الأمر إلى استعمال أحد المبيدات الحشرية للقضاء على نوع من الهاموش الذى ظهر بها وسبب كثيرا من الضيق لروادها من المصيفين. وقد استعمل لهذا الغرض مبيد يعرف باسم «د. د. د»، «D. D. D»، وهو مبيد حشرى شبيه بمبيد «د.د. ت»، واستعمل هذا المبيد بكميات صغيرة جدا لا تزيد على ٠,٢ جزء فى المليون حتى لا يسبب أى ضرر لبقية الكائنات التى تعيش فى هذه البحيرة.

وعند تحليل مياه البحيرة بعد فترة قليلة من الزمن، تبين اختفاء مبيد «د . د. ت» من مياهها، ولكن لوحظ أن كثيرا من الكائنات الحية التى تعيش فى مياه هذه البحيرة قد احتوت أجسامها على نسبة عالية إلى حد ما من هذا المبيد وصلت فى أجسام الأسماك إلى نحو خمسة أجزاء فى الملون وهو تركيز يزيد بنحو ٢٥ مرة على تركيز المبيد المستعمل فى مياه البحيرة نفسها.

كذلك وصلت نسبة هذا المبيد فى نوع من البط الذى يعيش فى هذه البحيرة إلى نحو ٢٠٠٠ جزء فى المليون، أى بزيادة نحو عشرة آلاف مرة على التركيز الأصلى للمبيد، مما يؤكد زيادة تركيز هذه المبيدات فى أجسام الكائنات الحية على طول سلسلة الغذاء، ويشير بوضوح إلى عدم الاستهانة بخطورة هذه المبيدات على المجارى المائية مهما قلت كميتها.

وتنطبق هذه الظاهرة على كل أنواع المبيدات المستعملة فى مقاومة الحشرات ومكافحة الآفات، ومن أمثلة ذلك «الأندرين» وهو مبيد حشرى شديد السمية، فتكفى كمية ضئيلة منه تصل إلى نصف جزء فى البليون (ألف مليون) لقتل عدد كبير من الأسماك، ومبيد «الديلدرين» الذى يعتبر ساما بتركيز ١١ جزءا فى المليون، كما أن مركبات الزئبق العضوية المستعملة لمكافحة الفطريات يذهب كل ما يتبقى منها فى التربة إلى المياه الجوفية وإلى مياه الأنهار والبحيرات، وتسبب كثيرا من الضرر لكل أنواع الكائنات الحية التى تعتمد على هذه المياه.

وفى بعض الأحيان تتسرب بعض هذه المبيدات إلى مياه الشرب، فقد وجدت آثار من مبيد «الأديكارب»، وهو مبيد شديد السمية، فى مياه الشرب فى بعض دول أوربا وفى بعض المدن الأمريكية، وزاد تركيز هذا المبيد على ١٠ ميكروجرام فى كل لتر من مياه الشرب، وهى الحد الأقصى الذى حددته هيئة الصحة العالمية.

كذلك وجدت آثار من مبيد «اللندان» و«الاتزازين» فى مياه الشرب فى بعض المدن الفرنسية.

ويتضح من ذلك مدى خطورة الاستعمال غير الرشيد لمثل هذه المبيدات وما يمكن أن تسببه من ضرر لمصادر المياه العذبة التى يحتاج إليها الإنسان.

تلوث الماء بالمخصبات الزراعية:

درج كثير من المزارعين على استخدام بعض المخصبات الزراعية لزيادة خصوبة التربة وزيادة إنتاجها من المحاصيل.

وتتكون أغلب المخصبات الزراعية من مركبات الفوسفات والنترات، وعند استخدام كميات غير محسوبة من هذه المخصبات، فإن الجزء الزائد منها عن حاجة النبات، يتم استخلاصه تدريجيا من التربة بمياه الرى وبمياه الأمطار، وتحمله معها فى نهاية الأمر إلى المياه الجوفية وإلى مياه الأنهار والبحيرات.

وعادة ما يتبقى فى التربة جزء كبير من المخصبات الزراعية، ففى فرنسا مثلا بلغت كمية المخصبات النتروچينية المحتوية على مركبات النترات المستعملة فى تسميد الأراضى الزراعية بها نحو تسعة ملايين طن فى العام.

ولا تستطيع النباتات أن تستهلك كل هذا القدر من النترات، ولذلك يتبقى منها قدر كبير فى التربة يقدر بنحو مليونى طن كل عام، وهذا الجزء المتبقى فى التربة هو الذى يذهب فى نهاية الأمر إلى المجارى المائية الطبيعية ويلوث مياهها.

وينطبق ذلك أيضا على المخصبات الزراعية المحتوية على مركبات الفوسفور، وقد اتضح من بعض الدراسات التى أجريت فى هذا المجال فى الولايات المتحدة، أن إحدى بحيراتها وتدعى بحيرة «إيرى» «Erie»، بلغ بها التلوث مداه، وتبين أن ٢٢٪ مما بها من مركبات الفوسفور يصل إليها عن طريق مياه الصرف الزراعية والمياه الجوفية، وهو يمثل الجزء الذى تبقى بالتربة من هذه المخصبات، أما بقية مركبات الفوسفور الموجودة بهذه البحيرة فيصل إليها عن طريق مياه الصرف الصحى ومياه الصرف الصناعية.

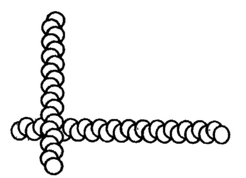
كذلك تبين أن بعض البحيرات الأخرى تزيد بها هذه النسبة، ومثال ذلك بحيرة «مندوتا» «Mendota» بولاية ويسكونتش بالولايات المتحدة يصل إليها نحو ٤٢ ٪ مما بها من مركبات الفوسفور عن طريق مياه الصرف الزراعية والمياه الجوفية.

وتتميز مركبات الفوسفور والنترات بثباتها الكيميائى، ولذلك فهى لا تنحل بسهولة ويبقى أثرها طويلا فى الماء، وهى تعتبر مواد سامة إذا زادت نسبتها فى الماء عن حدود معينة، ولا تصلح المياه المحتوية على هذه المركبات لاستخدامها فى أغراض الشرب وطهو الطعام، كما أنها تؤدى كذلك إلى انتشار ظاهرة التشبع الغذائى فى بعض البحيرات المقفلة وتسبب تحولها إلى مستنقعات.



الباب الخامس

موقف المياه العذبة فى الوطن العربى



الماء العذب يمثل الحياة بالنسبة لجميع الكائنات الحية، ولا تستقيم الحياة فى غياب الماء.

وتظهر مشكلة المياه بشكل واضح جدا فى بعض الأماكن على سطح الكرة الأرضية، وبصفة خاصة فى المناطق الجافة التى تحيط بها الصحراوات.

ومن أهم هذه المناطق منطقة الشرق الأوسط التى تمتد من شمال أفريقيا غربا إلى الخليج العربى شرقا، وتمتد شمالا إلى سوريا والعراق وتركيا مرورا بالأردن وفلسطين وإسرائيل، وهى المنطقة التى تشغلها شعوب العالم العربى.

ولا تسقط الأمطار بهذه المناطق إلا نادرا، وفى فصل الشتاء فقط، وهي قد توفر بعض احتياجات الزراعة، ولكنها محدودة القيمة، فهذه الأمطار القليلة لا تفى باحتياجات أهل هذه البلاد، كذلك فإن بعض الأنهار الموجودة ببعض هذه المناطق تعد هى الأخرى محدودة القيمة إلى حد ما، وخاصة أن الزيادة فى أعداد السكان فى هذه البلدان، والتوسع فى الزراعة وفى عمليات التصنيع، مع ارتفاع مستوى المعيشة بالنسبة للأفراد، يتطلب مزيدا من المياه العذبة بمرور الوقت.

وبمقارنة كميات المياه التى تتوافر لكل فرد فى مثل هذه المناطق من العالم العربى، بنفس هذه الكميات المتاحة للأفراد فى بعض الدول الأخرى، نجد أن إحدى الإحصائيات التى أجريت عام ١٩٩٠ تقرر أن الولايات المتحدة بها نحو ١٠,٠٠٠ من الأمتار المكعبة من الماء لكل فرد من سكانها فى العام، وأن العراق بها نحو ٥٥٠٠ متر مكعب لكل فرد من سكانها فى العام، وأن تركيا توفر نحو ٤٠٠٠ متر مكعب لكل فرد فى العام، وسوريا بها نحو ٢٨٠٠ متر مكعب من الماء العذب لكل فرد فى العام، وأن مصر بها نحو ١٨٠٠ متر مكعب فى العام لكل فرد من سكانها رغم وجود نهر النيل بها.

وتشير هذه الإحصائية إلى أن دولا أخرى فى المنطقة، مثل الأردن وفلسطين وإسرائيل بها كميات ضئيلة للغاية من المياه العذبة فلا يزيد ما يتوفر بها من هذه المياه لكل فرد من سكانها على ٢٦٠ - ٤٠٠ متر مكعب فى العام.

ومن الطبيعى أن هذه الأرقام ليست أرقاما ثابتة فهى عرضة للتغيير بمرور الوقت لأن إقامة بعض مشروعات الرى أو إقامة بعض السدود على مجارى بعض الأنهار قد يغير من كميات المياه التى تتوافر للبلدان التى تقع عند مصبات هذه الأنهار.

كذلك قد تتأثر هذه الأرقام إلى حد كبير بطرق الرى والزراعة القديمة المستخدمة فى بعض هذه البلدان، وهى قد تستهلك كميات كبيرة من الماء دون داعى.

ومن الملاحظ أن الأنهار العربية الكبيرة مثل نهر النيل ودجلة والفرات، تنبع من أراضى دول خارج العالم العربى، ولذلك فإن إقامة أى مشروع على أحد هذه الأنهار سوف يؤثر تأثيرا كبيرا على نصيب الفرد العربى من المياه عند مصب النهر.

ومن أمثلة هذه المشروعات التى قد تقوم بها إحدى الدول، وتؤثر على نصيب الفرد من المياه العذبة فى بعض البلدان الأخرى، ذلك السد الكبير الذى أقامته تركيا وأطلقت عليه اسم «سد أتاتورك» وقد أقيم هذا السد على منابع نهر الفرات، وسوف يحجز هذا السد أمامه كميات هائلة من المياه تزيد على عشرة أضعاف ما يحتويه بحر الجليلى.

وقد أقيم هذا السد لتنمية جنوب شرق منطقة الأناضول فى تركيا، ولرى مساحات ضخمة من الأراضى فى هذه المناطق، وزراعتها بمختلف المحاصيل، مع توليد طاقة كهربائية كبيرة والقضاء على البطالة، وقد يؤدى إلى تشغيل عدة ملايين من الأيدى العاملة مما يخفف من حدة المشكلة الكردية هناك إلى حد ما.

ويتضح من ذلك أن هذا السد سيحقق فائدة كبيرة لتركيا، ولكنه سيؤثر إلى حد كبير على حصة كل من سوريا والعراق فى مياه نهر الفرات، ويقدر أن النقص فى المياه فى سوريا نتيجة لإقامة هذا السد قد يصل إلى نحو ٤٠٪ من احتياجاتها، وأن النقص فى نصيب العراق من مياه نهر الفرات قد يصل إلى نحو ٨ ٪ من احتياجاتها.

وترى كل من سوريا والعراق أن هذا المشروع يمثل ورقة للضغط التركى عليهما مما يؤذن بنوع من الصراع على المياه العذبة بين هذه الدول.

ومن المعروف أن كلا من نهرى دجلة والفرات من الأنهار الدولية التى يجب عقد اتفاقات بين الدول التى تمر بها هذه الأنهار بشأن اقتسام المياه بين الدول المستفيدة منها، وألا تستأثر دولة المنبع بالتحكم فيهما والسيطرة على مياههما.

ويبدو من الإحصائيات السابقة أن دولا مثل إسرائيل والأردن على وشك استنفاد ما بهما من مياه عذبة، وقد يحدث ذلك فى المستقبل القريب، أى فى خلال خمس عشرة سنة، ومن المتوقع أن يدور الصراع مستقبلا بين دول منطقة الشرق الأوسط حول مصادر المياه المتاحة لكل دولة من الدول، وهو ما يطلق عليه البعض مجازا اسم حرب المياه.

ومن الملاحظ اليوم أن نحو ٨٤٪ من سكان العالم العربى يعيشون حاليا تحت خط الفقر المائى ـ إن جاز لنا أن نستخدم هذا التعبير ـ ولا شك أن المنطقة العربية ستواجه مشاكل عديدة ومتنوعة، فى المستقبل القريب، فى مجال الأمن المائى والصناعى، وأيضا فى مجال الأمن الغذائى، مما يستدعى القيام باتخاذ إجراءات حازمة لزيادة كفاءة الموارد المائية، وترشيد الطريقة التى يمكن أن تستغل بها هذه الموارد.

وأهم المشاكل التى تعانى منها دول المنطقة العربية هى ندرة المياه فى بعض أرجائها التى تقع على أطراف المناطق الصحراوية، مما يؤدى إلى انخفاض حصة الفرد من الماء العذب النابع من الموارد المائية المتجددة، ويضاف إلى ذلك أن موارد المياه الجوفية فى بعض أماكن الوطن العربى تستنزف بشكل غير محدود ودون حساب للمستقبل، بالإضافة إلى ما يحدث من تلوث لمصادر هذه المياه فى كثير من المواقع.

وتشير دراسات أخرى إلى أن سكان العالم العربى سيصل عددهم فى بداية القرن الحادى والعشرين إلى نحو ٢٩٠ مليون نسمة، وقد يصل إلى نحو ٤٩٠ مليون نسمة عام ٢٠٢٥ مما يتطلب مزيدا من الخدمات ويؤثر تأثيرا كبيرا على كل من الأمن المائى والأمن الغذائى فى الوطن العربى.

وتشير هذه الدراسات إلى أن خط الفقر المائى، وهو الحد الأدنى لنصيب الفرد من الأمتار المكعبة من الماء فى العام، يقدر بنحو ١٣٥٠ مترا مكعبا، وأن مجمل نصيب الفرد فى الوطن العربى فى الوقت الحالى لا يزيد على ١١٥٦ مترا مكعبا من الماء فى العام مع ثبات تعداد سكان العالم العربى على ما هو عليه.

ومع زيادة عدد سكان الوطن العربى، فإنه من المتوقع أن ينخفض نصيب كل فرد عربى من المياه العذبة إلى نحو ٩٦٠ مترا مكعبا فى بداية القرن الحادى والعشرين، مما يعنى أن غالبية سكان العالم العربى أو نحو ٨٩٪ منهم سيعيشون تحت مستوى خط الفقر المائى وسيجدون صعوبة كبيرة فى الحصول على ما يلزمهم من مياه.

أما فى عام ٢٠٢٥ عندما يصل تعداد سكان الوطن العربى إلى نحو ٤٩٠ مليون نسمة، فإن الصورة تصبح قاتمة، ولن يزيد نصيب الفرد العربى من الماء على نحو ٥٦٦ من الأمتار المكعبة من الماء فى العام.

ويستدعى هذا الوضع الذى تشير إليه هذه الإحصائيات، القيام بدراسات شاملة وعاجلة لمنع هذا التدهور فى حصة الفرد من الماء، على أن تتضمن هذه الدراسات طرق ترشيد استخدام مصادر المياه، ودراسة إقامة مشروعات جديدة لاستغلال المياه الجوفية فى بعض المناطق، واللجوء إلى عمليات تحلية مياه البحار بطرق اقتصادية.

وحتى مصادر المياه الجوفية فى الوطن العربى قد تعرضت هى الأخرى لعمليات استنزاف هائلة، وذلك بسبب ضخ هذه المياه بطريقة غير محسوبة والسحب العالى منها دون مبرر دون مراعاة لعملية التوازن بين الكميات التى تسحب منها والكميات التى تتجدد منها.

ومن الطبيعى أن هذا السحب العالى لا يؤدى فقط إلى قلة المتاح من هذه المياه الجوفية، ولكنه يؤدى كذلك إلى تدهور نوعية هذه المياه ومقدار صلاحيتها للزراعة أو للشرب، فترتفع بها نسبة الأملاح والمواد الذائبة.

وقد حدثت هذه الظاهرة فى كثير من دول الوطن العربى، وارتفعت نسبة الأملاح فى المياه الجوفية فى سوريا وفى الإمارات العربية، وفى عمان وليبيا واليمن وتونس والأردن والبحرين.

يضاف إلى ذلك التلوث الذى تحدثه بعض المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحى، ومياه الصرف الزراعية، وهى مياه تحتوى على كثير من المواد الضارة مثل مركبات الفوسفات والمبيدات وبعض المخصبات الكيميائية، وهى تقلل من كميات المياه العذبة النقية والصالحة للشرب، المتاحة لكل فرد من الأفراد. ولا يقتصر هذا التلوث على مصادر المياه السطحية، بل يصل فى كثير من الأحيان إلى مستوى المياه الجوفية ويفسدها.

أما بالنسبة لمياه الأمطار فلا يزيد متوسط مستوى هطول الأمطار على الوطن العربى، على ١٩٠ مليمترا فى العام. ولا تسقط هذه الأمطار على كل أراضى العالم العربى، فهناك مناطق صحراوية لا تسقط بها الأمطار تقريبا على مدار العام، وهى مناطق شديدة الجفاف. وتمثل هذه المناطق نحو ٦٧٪ من مساحة الوطن العربى، على حين لا تشكل المناطق التى يطلق عليها اسم المناطق الرطبة، وهى المناطق التى تسقط عليها الأمطار، أكثر من ٩٪ فقط من مساحة الوطن العربى.

ويتضح من ذلك أن هناك أماكن كثيرة فى الوطن العربى لا تستطيع أن تعتمد على مياه الأمطار، وأن مثل هذه المناطق لابد وأن تعتمد فى احتياجاتها على المياه الجوفية المتاحة بها.

وتقدر بعض الدراسات أن مخزون المياه الجوفية المتجددة فى الوطن العربى يصل إلى نحو ٤٨ مليار من الأمتار المكعبة فى العام، كما يقدر المستغل منها حاليا بنحو ٢٤ مليار من الأمتار المكعبة كل عام، أما مصادر المياه الجوفية غير المتجددة فإن



بعض التقديرات الدولية تشير إلى توافر مخزون ضخم منها فى الوطن العربى يمكن استغلاله بشكل جيد فى كثير من الأماكن.

ويتبقى بعد ذلك اللجوء إلى بعض مصادر المياه غير التقليدية مثل تحلية مياه البحر وإزالة ما بها من أملاح، وقد استخدمت هذه الطريقة فى بعض بلدان الخليج كما فى الكويت والمملكة العربية السعودية، فقد أقامت الكويت عدة معامل لإعذاب مياه البحر، كما أقامت السعودية نحو ٢٢ معملا لنفس الغرض، وتنتج هذه المعامل نحو ٣٠٪ من المياه التى أزيلت ملوحتها على مستوى العالم.

وتحتاج عمليات تحلية مياه البحر إلى استهلاك قدر كبير من الطاقة؛ ولذلك تقوم بها الدول العربية التى تمتلك منابع ضخمة للنفط، وهى عملية مرتفعة التكاليف، فالمتر المكعب من الماء العذب الصالح للشرب والناتج بهذا الأسلوب قد يتكلف أكثر من دولارين.

وتلعب إسرائيل دورا بغيضا يؤثر كثيرا على مستقبل المياه فى بعض أماكن الوطن العربى. ففى الستينيات أقامت إسرائيل مشروعا لنقل مياه الجليلى إلى صحراء النقب، وقد أدى ذلك إلى جفاف فرع النهر الذى يمر بالأردن.

كذلك تقوم سلطات الاحتلال الإسرائيلى بإدارة الموارد المائية واستغلالها فى الأراضى المحتلة بفلسطين، وهى تقوم بنقل نحو ٧٠ ٪ من المياه المتاحة بالضفة الغربية إلى المستوطنات الإسرائيلية.

كذلك تحصل إسرائيل على نحو ٨٠٠ مليون متر مكعب من مياه نهر الليطانى فى لبنان بعد احتلالها لجنوب لبنان، بالإضافة إلى أنها تسرق جزءا كبيرا من مياه نهر الأردن يقدر بنحو ٦٦٠ مليون متر مكعب، وهو جزء من حصة الأردن فى هذا النهر، وتقوم بتخزين هذه المياه فى بحيرة طبرية.

وتحصل إسرائيل أيضا على جزء كبير من احتياجاتها من الماء العذب، يقدر بنحو ٣٠٪ من احتياجاتها، من هضبة الجولان السورية، وهى أرض محتلة وغنية بينابيع المياه.

وبالنسبة إلى جمهورية مصر العربية، نجد أننا نعتمد أساسا على مياه نهر النيل، وهو نهر ينبع من أواسط أفريقيا وتشترك معنا فيه تسع دول أخرى.

وتصل احتياجات مصر الحالية من المياه إلى نحو ٦٠,٣ مليار متر مكعب فى العام، نأخذ منها نحو ٥٥,٥ مليار متر مكعب من مياه نهر النيل، ويتم توفير الباقى من آبار المياه الجوفية، ومن إعادة استخدام مياه الصرف الزراعى.

المراجع

1) Valentin Korzoun & Alexei Skolor, Le Courrier de L'UNESCO, fevrier, 1978.

2) Andrew Porteous, Saline water distillation process, Longman - London, 1975.

3) K. S. Spiegler: Salt water purification, second edition, plenum, 1979.

4) E. D. Howe: Fundamentals of water desalination, Marcel Dekker, New York, 1974.

5) U. Merten: Desalination by reverse osmosis, the M. I. T. Press, 1966.

6) D. Eisenberg and W. Kauzmann: The structure and properties of water, Oxford, 1969.

7) I. S. Lewis and R. G. Prinn: Planets and their atmosphere, origin and evolution, Academic Press, 1984.

8) A. Baumgartner and E. Richel: The World water balance, Elsevier, 1975.

9) Mark J. Hammer: Water and Waste water technology, New York, John Wiley, 1975.



رقم الإيداع	٥٠١٢/٩٩
I. S. B. N الترقيم الدولى	977- 10 -1238-x



الأستاذ الدكتور

أحمد مدحت إسلام

* بكالوريوس علوم الدرجه الحاصه فى الكيمياء بتقدير جيد جدا مع مرتبة الشرف عام ١٩٤٦ من جامعة القاهرة.
* ماجستير فى الكيمياء العضوية من جامعة القاهرة عام ١٩٥١.
* دكتوراه فى الكيمياء العضوية من جامعة جلاسجو عام ١٩٥٤.
* عمل مدرسا بجامعة عين شمس وأستاذا مساعدا فى جامعة أسيوط، وأستاذا ورئيسا لقسم الكيمياء بهندسة الأزهر منذ عام ١٩٦٤.
* وكيلا لكلية هندسة الأزهر من ١٩٦٨ . ١٩٧٠.
* عميدا لكلية علوم الأزهر من ١٩٧٠ . ١٩٧٦ ورئيسا لقسم الكيمياء بها حتى ١٩٨٥، وما زال أستاذا متفرغا بها.
* قام بنشر أكثر من ١٠٠ بحث فى المجلات العالمية المتخصصة.
* أشرف على ٢٠٠ رسالة ماجستير ودكتوراه.
* عضو الجمعية الكيميائية المصرية
* عضو الجمعية الكيميائية بلندن.
* عضو مجمع اللغة العربية.
* عضو الأكاديمية المصرية للعلوم.
* عضو مجلس العلوم الأساسية بأكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا.
* عضو المجمع العلمى المصرى.
* عضو اللجنة الدائمة لترقية الأساتذة.

هذا الكتاب

يستعرض الكتاب خواص الماء ومصادره الطبيعية المختلفة مثل مياه الأنهار ومياه البحار والمياه الجوفية ومياه الأمطار، وخواص كل منها، وطرق تنقيتها للحصول على مياه الشرب، وكذلك الطرق المستخدمة لتنقية مياه الصرف الصحى لاستخدامها فى مختلف الأغراض.

ويحتوى الكتاب أيضا على الطرق المستعملة فى تحلية مياه البحار، وموقف المياه فى العالم العربى فى الوقت الراهن.

كما يوضح الكتاب نصيب الفرد فى العالم العربى من المياه العذبة .